

# **Estudio de los procesos de soldadura GTAW y SMAW en la industria naval: Análisis casos prácticos**

**Trabajo Final de Grado**



Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:  
**Oscar Lorenzo Tena**

Dirigido por:  
**Jordi Torralbo Gavilán**

Grado en Tecnologies Marinas

Barcelona, 10 de Octubre de 2019

Departament de Ciències i Enginyeria Nàutiques .



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona



---

"La teoría es algo bueno, pero un buen experimento queda para siempre"

Piotr Kapitsa





---

# Agradecimientos

Agradecer a mi tutor y profesores que he tenido a lo largo de mis estudios en la Facultad de Náutica de Barcelona.

También, agradecer a los propietarios del taller V&V Stokers y HD Shop por la ayuda prestada y toda la información acerca de la soldadura y la posibilidad de trabajar con ellos a lo largo de este proyecto.

Como no a los compañeros que he tenido en remolcadores, sobre todo a Ricardo y Dan por sus conocimientos y la ayuda prestada para la realización de mi proyecto, y al Sr. José Domínguez por facilitarme todos los trámites y hacer posible la realización de mis prácticas de alumno de máquinas a bordo de los remolcadores.

Agradecer infinitamente a Eduard Gutiérrez toda la ayuda prestada y por recibirme en las instalaciones de Rubí del Institut Tècnic Català de la Soldadura y toda la información que me aportó.

---

# Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTOS	III
TABLA DE CONTENIDOS	IV
LISTADO DE FIGURAS	VIII
LISTADO DE TABLAS	XII
 <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b>	 <b>1</b>
1.1 MOTIVACIÓN	1
1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO	1
1.3 ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA	2
 <b>CAPÍTULO 2. HISTORIA DE LA SOLDADURA</b>	 <b>3</b>
2.1 LA SOLDADURA DURANTE LA PRIMERA Y SEGUNDA GUERRA MUNDIAL	5
 <b>CAPÍTULO 3. CONCEPTOS GENERALES DE LA SOLDADURA</b>	 <b>7</b>
3.1 DEFINICIÓN	7
3.2 CLASIFICACIÓN PROCESOS DE SOLDADURA	8
3.3. CLASIFICACIÓN EN ISO 4063 Y AWS	13
3.4 CUADRO RESUMEN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA Y UNIÓN	15
3.5 APLICACIONES DE LOS DISTINTOS PROCESOS DE SOLDEO	19
3.6 CAPILARIDAD	20
3.6.1 GAS	21
3.6.2 MATERIAL DE APORTACIÓN	23
3.6.3 DECAPANTE O DESOXIDANTE	30
3.6.4 EQUIPO DE SOLDADURA BLANDA	31
3.6.5 SOLDADURA FUERTE	33
3.7 ELECCIÓN DEL MÉTODO SOLDEO	37
3.8 POSICIONES DE SOLDADURA	40
3.8.1. POSICIONES DE SOLDEO DE CHAPAS A TOPE	40
3.8.2 POSICIONES DE SOLDEO EN TUBERÍA	40
3.8.3 POSICIONES DE SOLDEO EN TUBERÍA EN ÁNGULO CON CHAPAS	41

---

## **CAPÍTULO 4. PROCESOS DE SOLDADURA GTAW/TIG - TUNGSTEN INERT GAS WELDING**

---

**44**

<b>4.1 PRINCIPIOS DEL PROCESO</b>	<b>44</b>
<b>4.2 EQUIPO/UNIDAD PARA SOLDADURA TIG</b>	<b>45</b>
<b>4.3 GAS PROTECTOR PARA LA SOLDADURA</b>	<b>46</b>
4.3.1 LOS GASES DE PROTECCIÓN	47
<b>4.4 MÉTODOS PARA LA ELIMINACIÓN DE LA CAPA DE ÓXIDO DE ALUMINIO</b>	<b>50</b>
<b>4.5 FUENTES DE PODER</b>	<b>51</b>
4.5.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE CORRIENTE	53
4.5.2. ARCO CON CORRIENTE CONTINUA	54
4.5.3. ARCO CON CORRIENTE ALTERNA	54
4.5.4. EFECTO DEL TIPO DE CORRIENTE	54
4.5.5. ENCENDIDO DEL ARCO ELÉCTRICO	54
<b>4.6 EL SOPLETE O ANTORCHA</b>	<b>57</b>
<b>4.7 SELECCIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA PUNTA DEL ELECTRODO</b>	<b>58</b>
<b>4.8 ELECCIÓN ELECTRODO</b>	<b>60</b>
<b>4.9 DIÁMETROS Y CAPACIDAD DE CORRIENTE</b>	<b>62</b>
<b>4.10 CONTAMINACIÓN DE LOS ELECTRODOS</b>	<b>62</b>
<b>4.11 SELECCIÓN DE LAS VARILLAS EN FUNCIÓN DE LOS MATERIALES A SOLDAR</b>	<b>63</b>
<b>4.12 DEFECTOS TÍPICOS DE LA SOLDADURA TIG</b>	<b>69</b>
<b>4.13 VENTAJAS MÉTODO TIG</b>	<b>69</b>
<b>4.14 DESVENTAJAS MÉTODO TIG</b>	<b>70</b>

## **CAPÍTULO 5. PROCESO DE SOLDADURA CON ELECTRODO REVESTIDO SMAW (SHIELD METAL ARC WELDING)**

---

**71**

<b>5.1 PRINCIPIOS DEL PROCESO</b>	<b>71</b>
<b>5.2 ELECTRODO REVESTIDO</b>	<b>73</b>
<b>5.3 TIPOS DE REVESTIMIENTO DE LOS ELECTRODOS</b>	<b>75</b>
<b>5.4 CONSIDERACIONES DE LOS ELECTRODOS: CONSERVACIÓN Y MANIPULACIÓN</b>	<b>78</b>
<b>5.5 PARÁMETROS DE SOLDEO</b>	<b>78</b>
<b>5.6 TÉCNICAS OPERATIVAS SOLDEO CON ELECTRODO REVESTIDO</b>	<b>80</b>
<b>5.7 DEFECTOS TÍPICOS DE LA SOLDADURA CON ELECTRODO REVESTIDO</b>	<b>81</b>
<b>5.8. VENTAJAS SOLDADURA SMAW</b>	<b>83</b>
<b>5.9. DESVENTAJAS SOLDADURA SMAW</b>	<b>83</b>
<b>5.10. COMPARATIVA MÉTODOS GTAW Y SMAW</b>	<b>84</b>

## **CAPÍTULO 6. INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD:**

---

**86**

<b>6.1 EQUIPO DE SEGURIDAD</b>	<b>86</b>
<b>6.2 PANTALLAS DISPONIBLES PARA LA REALIZACIÓN DE LA SOLDADURA TIG</b>	<b>87</b>
<b>6.3 CONSIDERACIÓN DE SELECCIÓN DE PANTALLA PARA SOLDADURA</b>	<b>87</b>

---

6.3.1 PANTALLA O MASCARA DE SOLDAR DE MANO	88
6.3.2 PANTALLA O MASCARA DE SOLDAR PARA CABEZA	88
6.3.3 PANTALLA O MASCARA DE SOLDAR FOTOSENSIBLE	89
<b>CAPÍTULO 7. NORMATIVA, ORGANISMOS Y CUALIFICACIÓN EN LA SOLDADURA</b>	<b>92</b>
<b>7.1 INTERNATIONAL INSTITUTE OF WELDING (IIW)</b>	<b>92</b>
<b>7.2 EUROPEAN FEDERATION FOR WELDING (EFW)</b>	<b>93</b>
<b>7.3 INSTITUTO DE SOLDADURA E QUALIDADE (ISQ)</b>	<b>93</b>
<b>7.4 PROGRESS SRL – ITALIA (IIS)</b>	<b>94</b>
<b>7.5 ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TECNOLOGÍAS DE UNIÓN (CESOL)</b>	<b>94</b>
<b>7.6 INSTITUT CATALÀ DE LA SOLDADURA (ITCS)</b>	<b>95</b>
<b>7.7 NORMATIVA REGULADORA</b>	<b>95</b>
7.7.1 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPQR/WPS	96
<b>7.8 ENSAYOS DE CALIFICACIÓN</b>	<b>100</b>
<b>7.9 CUALIFICACIÓN DE SOLDADORES</b>	<b>108</b>
<b>7.10 COORDINADORES, OPERADORES E INSPECTORES</b>	<b>113</b>
7.10.1 INSPECTORES DE CONSTRUCCIONES SOLDADAS	113
<b>7.10.2 EXPERIENCIA LABORAL (EN MESES)</b>	<b>115</b>
<b>7.10.3 REQUISITOS FÍSICOS: AGUDEZA VISUAL</b>	<b>115</b>
<b>7.10.4 TAREAS Y RESPONSABILIDADES DEL INSPECTOR DE CONSTRUCCIONES SOLDADAS</b>	<b>115</b>
<b>7.10.5 EXAMEN DE CUALIFICACIÓN</b>	<b>117</b>
<b>7.10.6 VALIDEZ Y RENOVACIÓN</b>	<b>118</b>
<b>CAPÍTULO 8. ANÁLISIS DE UN CASO PRÁCTICO</b>	<b>119</b>
<b>8.1 SOLDADURA BITA PARA AMARRE</b>	<b>119</b>
8.1.1 MOTIVO	119
8.1.2 SOLUCIÓN	121
<b>8.2 SOLDADURA DE UN SOPORTE PARA CABLE CONEXIÓN A TIERRA.</b>	<b>124</b>
8.2.1. MOTIVO	124
8.2.2. SOLUCIÓN	124
<b>8.3 SOLDADURA BANDEJA RECOGIDA DE LÍQUIDOS</b>	<b>125</b>
8.3.1. MOTIVO	125
8.3.2. SOLUCIÓN	125
<b>8.4 SOPORTES PARA SUJECCIÓN DE LA DEFENSA</b>	<b>127</b>
8.4.1. MOTIVO	128
8.4.2. SOLUCIÓN	128
<b>8.5 SISTEMA SUJECCIÓN TAPAS VENTILACIÓN</b>	<b>129</b>
8.5.1. MOTIVO	132
8.5.2. SOLUCIÓN	132

---



---

# Listado de figuras

Figura 1. Diagrama de Gantt TFG TFG año 2019 .....	1
Figura 2 Pilar de hierro Delhi [3] .....	3
Figura 3 Fullagar[3].....	4
Figura 4 Soldadura con material aportación y sin material de aportación[11] .....	7
Figura 5. Soldadura heterogénea [11].....	9
Figura 6. Soldadura fuerte [11] .....	10
Figura 7. Soldadura homogénea [11] .....	10
Figura 8. Soldadura Oxiacetilénica [11].....	11
Figura 9. Tipos de soldadura y aplicaciones [17].....	11
Figura 10. Soldadura arco manual con electrodos revestidos [11] .....	12
Figura 11. Soldadura a la forja[11] .....	12
Figura 12. Soldadura por puntos[11] .....	13
Figura 13. Capilaridad [6] .....	20
Figura 14. Relación diámetro altura [6].....	20
Figura 15. Efecto ascensión capilar [6].....	21
Figura 16 Aportación por capilaridad [11] .....	21
Figura 17. Grafico presión-temperatura [14] .....	22
Figura 18. Electrodo revestido [16] .....	23
Figura 19. Clasificación material de aportación [8].....	24
Figura 20. Ejemplo práctico [25] .....	27
Figura 21. Características electrodos [8] .....	27
Figura 22. Tipos de hilos tubulares [8] .....	28
Figura 23. Láminas [8] .....	29
Figura 24. Arandelas [8] .....	29
Figura 25. Polvos [8] .....	30
Figura 26. Equipo soldadura blanda [11] .....	31
Figura 27. Equipo pequeño [11] .....	31
Figura 28. Llama soplete [11] .....	32
Figura 29. Soldadura estaño [11] .....	33

Figura 30. Equipo soldadura fuerte [11] .....	34
Figura 31. Elementos manorreductor [5] .....	36
Figura 32. Soplete [1] .....	36
Figura 33. Tipos de llama [13] .....	37
Figura 34. Tipos de soldadura [8] .....	38
Figura 35. Posiciones soldadura [25] .....	42
Figura 36. Equipo soldadura TIG [18] .....	45
Figura 37. Relación de voltaje e intensidad con argón y helio [26] .....	48
Figura 38. Mezcla argón + 50% de helio [26] .....	49
Figura 39. Velocidad soldeo mezcla Argón + 6% Hidrogeno [26] .....	49
Figura 40. Identificación botellas gas soldadura [6] .....	50
Figura 41. Métodos limpieza superficies aluminio [8] .....	51
Figura 42. Fuente poder TIG [15] .....	53
Figura 43. Selección DC/AC [12] .....	53
Figura 44 Efecto tipo corriente [7] .....	54
Figura 45. Cráter soldadura TIG [9] .....	55
Figura 46. Cebado por raspado [7] .....	55
Figura 47. Cebado por alta frecuencia [7] .....	56
Figura 48. Arco pulsado [7] .....	56
Figura 49. Soplete o Antorcha [1] .....	57
Figura 50. Angulo requerido electrodo [4] .....	57
Figura 51. Afilado electrodo [8] .....	58
Figura 52. Tamaño arco soldadura ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ....	59
Figura 53. Flujo Laminar y turbulento [4] .....	60
Figura 54. Simbolización electrodos [26] .....	61
Figura 55. Soldadura electrodo revestido [7] .....	71
Figura 56. Equipo soldadura SMAW [19] .....	72
Figura 57. Fuente de energía y equipo soldadura [19] .....	72
Figura 58. Elementos electrodo [19] .....	74
Figura 59. Protección oxidación [19] .....	74
Figura 60. Clasificación electrodos [19] .....	75

---

Figura 61. Establecimiento arco eléctrico [19] .....	80
Figura 62. Pantalla de mano [9] .....	88
Figura 63. Pantalla para cabeza [9] .....	89
Figura 64. Mascara fotosensible [9] .....	90
Figura 65. Pantalla protección [9] .....	91
Figura 66 Ejemplo WPS [25] .....	97
Figura 67. Ejemplo WPS [25] .....	99
Figura 68. WPQR 1 [25] .....	102
Figura 69. WPQR 2 [25] .....	103
Figura 70. WPQR 3 [25] .....	104
Figura 71. WPQR 4 [25] .....	105
Figura 72. WPQR 5 [25] .....	106
Figura 73. WPQR 6 [25] .....	107
Figura 74. Ejemplo WPQ 1 [25] .....	109
Figura 75. Anexo WPQ [25] .....	110
Figura 76. Ejemplo WOPQ[28] .....	111
Figura 77. WOPQ 2 [28].....	112
Figura 78. Coordinador de soldeo [12].....	113
Figura 79. Niveles - Horas [7] .....	113
Figura 80. Requisitos tiempo según titulación [29].....	115
Figura 81. Examen cualificación [29].....	117
Figura 82. Tipos examen [29] .....	118
Figura 83. Bita deformada (Fuente: Propia).....	119
Figura 84. Bita anterior (Fuente: Propia).....	120
Figura 85. Bita deformada (Fuente: Propia).....	120
Figura 86. Amoladora (Fuente: Propia) .....	121
Figura 87. Disco milhojas (Fuente: Propia).....	121
Figura 88 .Electrodo revestido (Fuente: Propia) .....	122
Figura 89. Electrodo AWS 5.4 (Fuente: Propia).....	122
Figura 90 .Nueva bita soldada (Fuente: Propia).....	123
Figura 91. Bita con amarra (Fuente: Propia) .....	123

---



---

Figura 92. Vista bita y amarra (Fuente: Propia) .....	124
Figura 93. Soporte cable conexión tierra (Fuente: Propia) .....	125
Figura 94. Bandeja recogida (Fuente: Propia) .....	126
Figura 95. Cordones soldadura parte superior bandeja (Fuente: Propia).....	126
Figura 96. Soldadura soporte bandeja (Fuente: Propia) .....	127
Figura 97. Remolcador Salvador Dalí (Fuente: Propia) .....	127
Figura 98. Defensa nueva (Fuente: Propia) .....	128
Figura 99. Soldando soporte (Fuente: Propia) .....	129
Figura 100. Pieza 1 (Fuente: Propia) .....	129
Figura 101. Pieza 2 (Fuente: Propia) .....	130
Figura 102. Pieza 3 (Fuente: Propia) .....	130
Figura 103. Ambas piezas (Fuente: Propia) .....	131
Figura 104. Despiece (Fuente: Propia) .....	131
Figura 105. Diseño sistema sujeción (Fuente: propia) .....	132
Figura 106. Soporte pletina soldado a mamparo (Fuente: propia).....	133
Figura 107 .Soportes tapa ventilación (Fuente: propia).....	134

---

# Listado de tablas

Tabla 1. Clasificación procesos soldadura EN ISO 4063 [17].....	14
Tabla 2. Soldadura por arco [16] .....	15
Tabla 3. Otras soldaduras y uniones [16] .....	16
Tabla 4. Soldadura con oxígeno y gas combustible [16] .....	16
Tabla 5. Soldadura por resistencia [16].....	17
Tabla 6. Soldadura en estado líquido [16].....	17
Tabla 7. Soldering [16].....	18
Tabla 8. Aplicaciones distintos tipos de soldeo [5] .....	19
Tabla 9. Tipos botellas oxígeno .....	35
Tabla 10. Modificación normativa EN ISO 6947 .....	40
Tabla 11. Gases de protección .....	47
Tabla 12. Electrodo afilados VS poco afilados .....	58
Tabla 13. Normativa Europea simbolización, composición y color identificación .....	61
Tabla 14. Normativa Americana simbolización, composición y color identificación .....	62
Tabla 15. Diámetro de electrodos .....	62
Tabla 16. Causas contaminación .....	63
Tabla 17. Aceros al carbono y débilmente aleados.....	63
Tabla 18. Aceros inoxidables y resistencia al calor .....	64
Tabla 19. Aceros inoxidables y resistencia al calor 2.....	64
Tabla 20. Níquel y sus aleaciones.....	65
Tabla 21. Cobre y sus aleaciones.....	65
Tabla 22. Titanio y sus aleaciones .....	66
Tabla 23. Aluminio y sus aleaciones 1 .....	67
Tabla 24. Recomendaciones metales de aporte ERXXXX .....	67
Tabla 25. Magnesio y sus aleaciones.....	68
Tabla 26. Zirconio y sus aleaciones .....	68
Tabla 27. Corriente alterna y corriente continua .....	73
Tabla 28. Electrodo Ácidos.....	76
Tabla 29. Electrodo Básicos .....	76

---

Tabla 30. Celulósicos .....	77
Tabla 31. Rutilo.....	77
Tabla 32. Intensidades soldeo según posición. ....	79
Tabla 33. Orientaciones y técnicas típicas.....	80
Tabla 34. Mordeduras .....	81
Tabla 35. Porosidad .....	82
Tabla 36. Falta de fusión en bordes .....	83

# Capítulo 1. Introducción

## 1.1 Motivación

El motivo y/o motivación de la elección de este trabajo ha sido debido al interés que se me despertó a lo largo de mis estudios en la facultad de náutica acerca de la soldadura. Es un tema que ya me interesaba antes de iniciar mis estudios, y al profundizar en ello en ciertas asignaturas mi interés fue creciendo. Una de las intenciones era poder llegar a poner en práctica alguno de los métodos que se estudian en más profundidad y descubrir algunas de las aplicaciones, así como posibles salidas profesionales. Es por ello que se profundiza en aspectos más formativos y normativos como son la cualificación y certificación de soldadura.

A continuación, veremos un diagrama temporal de Gantt acerca de lo que ha sido la evolución temporal a grandes rasgos de este proyecto:

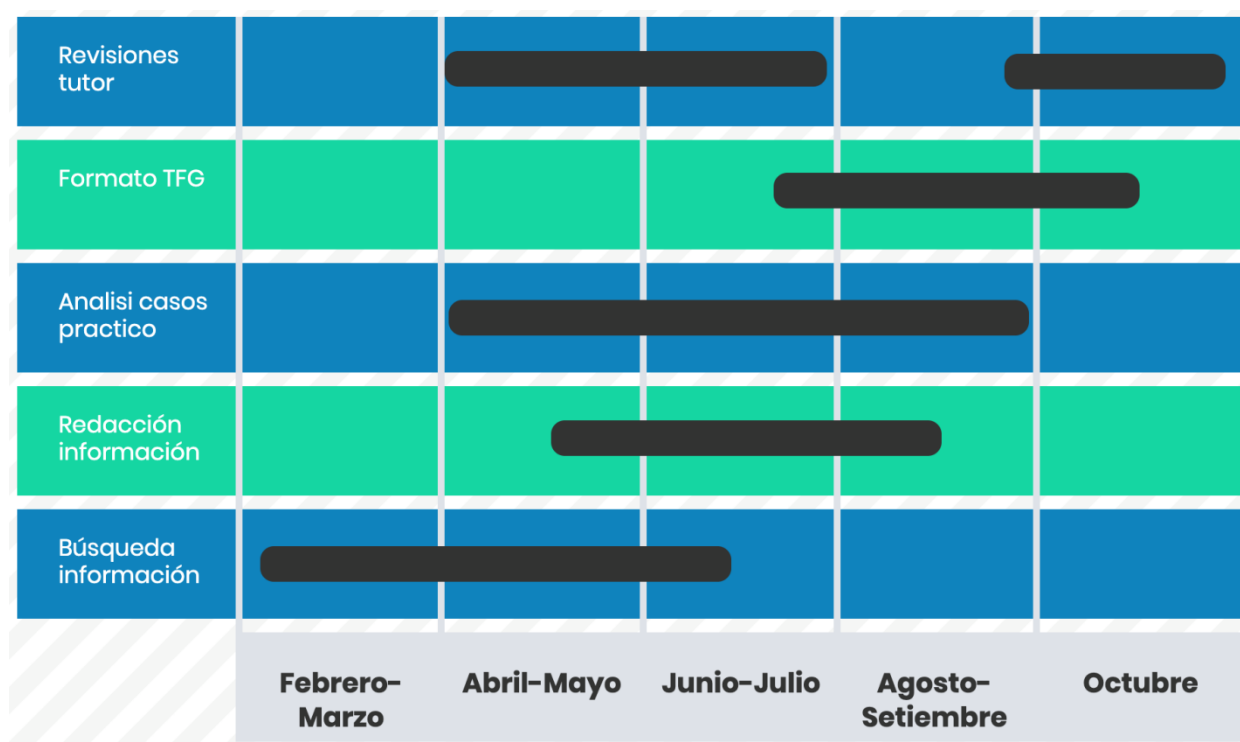


Figura 1. Diagrama de Gantt TFG TFG año 2019

## 1.2 Objetivos del trabajo

El objetivo de este trabajo es profundizar en el mundo de la soldadura, ya que durante la realización del grado en ingeniería marina solo se ha visto de pasada.

Dentro del mundo de la soldadura hay muchos tipos de soldadura, pero en este trabajo me he querido centrar en el proceso de soldadura GTAW / TIG. La idea principal era desarrollar la soldadura TIG dentro del mundo de la náutica de recreo, pero me ha sido algo complicado encontrar mucha información dentro del sector.

Como aficionado al mundo de la mecánica, el objetivo de este trabajo era el de ampliar mis conocimientos acerca de la soldadura y si fuere posible ponerla en práctica. Por varios motivos ha sido prácticamente imposible ponerla en práctica.

Durante los estudios del grado si hemos podido practicar un poco con la soldadura con electrodo revestido así como con la TIG, pudiendo apreciar la complejidad de ambos procesos de soldadura.

Otro de los objetivos era el de indagar las posibilidades que ofrece la soldadura en el mercado laboral y analizar diversas salidas profesionales.

### **1.3 Organización de la memoria**

El trabajo siguiente se ha desarrollado en varios puntos. El primero de ellos es una introducción histórica en el mundo de la soldadura y los hechos que motivaron su desarrollo.

En el capítulo 3 hablo de la soldadura en general, empezando por explicar que es la soldadura dando una serie de definiciones, y que tipos de soldadura existen actualmente intentando hacer una clasificación.

La soldadura GTAW/TIG se desarrolla en el cuarto capítulo, entrando en profundidad en este tipo de soldadura, el equipo necesario y elementos que forman parte de ella.

El capítulo 5 está dedicado a la soldadura mediante electrodo revestido o proceso de soldadura SMAW de las siglas en ingles Shield Metal Arc Welding.

El sexto capítulo habla de todo lo que hace referencia a la seguridad, que elementos de seguridad debemos tener en cuenta y con qué equipo debemos contar antes de llevar a cabo una soldadura mediante el método TIG.

En el capítulo 7 analiza todo lo relacionado con la normativa y los diferentes organismos existentes que regulan los procesos de soldadura así como todo lo relacionado con soldadura certificada.

El ultimo capitulo se analizan una serie de casos prácticos de soldadura aplicados en la industria naval, concretamente en los remolcadores de la empresa SAR del puerto de Barcelona.

## Capítulo 2. Historia de la soldadura

La historia de la soldadura se remonta varios milenios atrás, encontrando ejemplos desde la edad de bronce y la edad de hierro en Europa y Oriente Medio. Se considera como una de las primeras soldaduras las usadas en la construcción del Pilar de hierro de Delhi, en la India, erigido aproximadamente cerca del año 310.



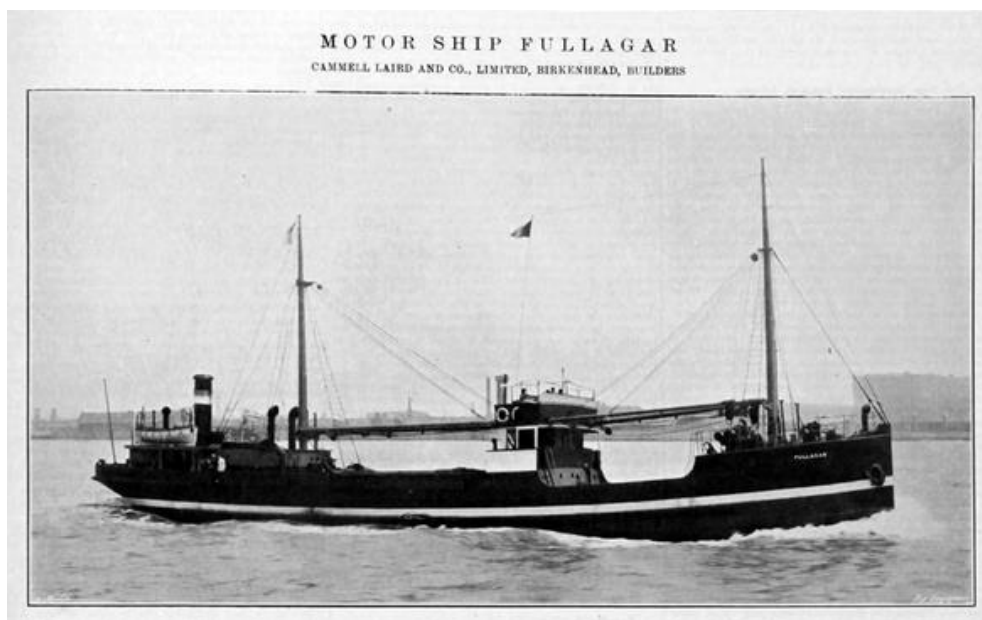
**Figura 2** Pilar de hierro Delhi [3]

La edad media trajo avances a la soldadura de fragua, con la que herreros golpeaban repetidamente y calentaban el metal hasta que se producía la unión. En 1540, *Vannoccio Biringuccio* publicó *De la pirotechnia*, que incluye descripciones de la operación de forjado. Los artesanos del Renacimiento eran habilidosos en el proceso, y dicha industria continuó desarrollándose durante los siglos siguientes. Sin embargo, la soldadura fue transformada durante el siglo XIX. En 1800, *Sir Humphry Davy* descubrió el arco eléctrico, y los avances en la soldadura por arco continuaron con las invenciones de los electrodos de metal por el ruso *Nikolai Slavyanov* y el norteamericano, *C. L. Coffin* a finales de los años 1800. Alrededor de 1900, *A. P. Strohmenger* lanzó un electrodo de metal recubierto en Gran Bretaña, que dio un arco más estable, y en 1919, la soldadura de corriente alterna fue inventada por *C. J. Holslag*.

La soldadura por resistencia también fue desarrollada durante las décadas finales del siglo XIX, con las primeras patentes del sector en manos de *Elihu Thomson* en 1885, quien produjo otros avances durante los siguientes 15 años. La soldadura de termita fue inventada en 1893, y alrededor de ese tiempo, se estableció otro proceso, la soldadura a gas. El acetileno fue descubierto en 1836 por *Edmund Davy*, pero su uso en la soldadura no fue práctico hasta cerca de 1900, cuando fue desarrollado un soplete

conveniente. Al principio, la soldadura de gas fue uno de los más populares métodos de soldadura debido a su portabilidad y costo relativamente bajo. Sin embargo, a medida que progresaba el siglo veinte, bajó en las preferencias para las aplicaciones industriales. Fue sustituida, en gran medida, por la soldadura de arco, en la medida que continuaron siendo desarrolladas las cubiertas de metal para el electrodo (conocidas como fundente), que estabilizan el arco y blindaban el material base de las impurezas.

La Primera Guerra Mundial causó un repunte importante en el uso de los procesos de soldadura, con las diferentes fuerzas militares procurando determinar cuáles de los variados nuevos procesos de soldadura serían los mejores. Los británicos usaron primariamente la soldadura por arco, incluso construyendo, mediante este procedimiento, una nave, *el Fullagar*, con un casco enteramente soldado



**Figura 3 Fullagar[3]**

El ejército estadounidense empezó a ver con buenos ojos y a utilizar la soldadura con arco eléctrico al ver que les permitía reparar de forma rápida sus naves después de recibir los ataques alemanes en puertos americanos en los inicios de la guerra. De forma rápida podían realizar reparaciones de forma duradera ya que los materiales utilizados en la construcción naval de la época eran soldables. La soldadura de arco también fue aplicada por primera vez en aviones durante la guerra, ya que en aviación se utilizaban también materiales que podían ser soldados.

Fue durante los años 20, cuando se realizaron grandes avances en la tecnología de la soldadura, uno de los más destacados fue la introducción de la soldadura automática, la alimentación del alambre del electrodo era continua. Gracias a esto, la soldadura se llevaba a cabo de forma mucho más rápida y eficazmente.

Durante los años 20, el gas de protección en la soldadura pasa a ser el gran protagonista, la gran obsesión fue la de cómo proteger las soldaduras contra los efectos del oxígeno y nitrógeno de la atmósfera. La presencia del oxígeno y el nitrógeno provocan una porosidad en la soldadura que se traduce en fragilidad de la unión. Como soluciones se introdujo la utilización de hidrógeno, argón y helio como gases de protección de la soldadura.

Durante los años 30 los esfuerzos se encaminaron a conseguir soldadura con otros materiales, permitiendo soldar metales como el aluminio y el magnesio. Esto sumado a los avances en la automatización de la soldadura, la utilización de corriente alterna y materiales de aportación nuevos, provocaron una gran utilización durante la década de los 30 y la segunda guerra mundial. [3]

A mediados del siglo XX, fueron inventados muchos métodos nuevos de soldadura:

En los 30 se introdujo la soldadura de perno, se hizo muy popular en la industria aeronáutica, tanto en la fabricación de aeronaves como en la construcción naval. En la misma década se inventó la soldadura de arco sumergido que continúa siendo muy popular todavía en la actualidad.

Durante los años 40 tras décadas de constante desarrollo, la soldadura de arco de gas con electrodo de tungsteno fue perfeccionándose, seguido en el 1948 por la soldadura por arco metálico con gas, que permitía la soldadura rápida de materiales no ferrosos, con el inconveniente que se requería el uso de gases de protección

En la década de los 50 se empezó a utilizar un fundente de electrodo consumible cubierto, que rápidamente se extendió su uso convirtiéndose en el proceso de soldadura más popular. Fue en 1957, se dio un gran salto al introducir la utilización de soldadura por arco en el que el electrodo de alambre podía ser utilizado con equipos automáticos y gas de protección, lo que se traducía en altas velocidades de soldadura. En ese mismo año se inventó la soldadura de arco de plasma, y en 1961 la soldadura con electrogas.

Otros avances a destacar durante la década de los 50 fue el importante logro de la soldadura con rayo de electrones, haciendo posible realizar soldaduras profundas y estrechas por medio de una fuente de calor concentrada.

Siguiendo la invención del láser en 1960, este tipo de soldadura por rayo láser se utilizó por primera vez varias décadas más tarde, y ha demostrado ser especialmente útil en la soldadura automatizada de alta velocidad, sin embargo, ambos procesos continúan siendo altamente costosos debido al elevado coste que tienen los equipos para este tipo de soldadura, viéndose limitadas sus aplicaciones.

## **2.1 La soldadura durante la primera y segunda Guerra Mundial**

Como en casi todos los avances tecnológicos los desarrollos de los mismos se han llevado a cabo con finalidades militares, fue durante la primera y la segunda guerra mundial donde se vieron grandes avances en el mundo de la soldadura.



Los diferentes ejércitos que combatieron durante la Primera Guerra Mundial, volvieron a utilizar los procesos de soldadura recuperando su uso y buscando mejoras del mismo, ya que aumento la preocupación por utilizar el mejor proceso de soldadura posible para conseguir reparaciones de forma rápida y eficaz, adelantándose al enemigo.

Los británicos usaban principalmente soldadura por arco, llegando a construir la nave Fullagar, una nave que contaba con un casco enteramente soldado, tal y como ya se ha comentado con anterioridad.

Los americanos no utilizaron el arco de forma tan súbita, o al menos no lo utilizaron en tantos procesos como los británicos, sino que lo fueron utilizando de forma más progresiva. Con el tiempo y el paso e la guerra, comenzaron a usarlo de forma más generalizada para poder reparar todas sus naves y artefactos, al recibir los primeros ataques por parte de los alemanes en el puerto de Nueva York, al principio de la Primera Guerra Mundial.

Los alemanes fueron los primeros en utilizar la soldadura por arco tanto en sus vehículos de tierra, buques, y fuselajes de aviones.

Como en casi todos ámbitos fue durante y después de las guerras donde se logran los mayores desarrollos en los procesos de soldadura, así como en muchos ámbitos tecnológicos.

En cuanto a la soldadura, sobretodo se da esta evolución debido a la gran cantidad de elementos, vehículos, armamento, artefactos varios contruidos con materiales ferrosos y por tanto soldables permitiendo como ya he comentado, obtener rápidas reparaciones y duraderas.

Fue durante la segunda guerra mundial cuando apareció el primer proceso de soldadura que contaba con gas de protección, se utilizaba un electrodo no consumible de wolframio, fue este proceso el que se conoce como proceso de soldadura TIG.

El proceso de soldadura TIG se desarrolló en gran medida gracias a la aparición de mejoras en la corriente alterna, como por ejemplo la utilización de una corriente de alta frecuencia y voltaje para estabilizar el arco, o la aparición de nuevos materiales. [9]

No se tiene una certeza absoluta de quien invento y en qué país se desarrollaron ciertas técnicas y procesos de soldadura, pero una cosa si está clara, y es que el proceso de soldadura TIG al igual que el MIG fue desarrollado durante la década de los 30 durante la guerra en respuesta al aumento en la demanda de producción de armas y vehículos destinados para fines militares.

La soldadura TIG tuvo gran importancia sobretodo en la industria aeronáutica, esto se debe a las uniones limpias y fuertes que ofrecía. El desarrollo de la TIG fue motivado por la necesidad de unir magnesio en la industria aeronáutica. [10]

## Capítulo 3. Conceptos generales de la soldadura

### 3.1 Definición

La primera acepción del término soldadura que se menciona en el diccionario de la Real Academia Española, se refiere al proceso y el resultado de soldar: *establecer una unión sólida entre dos cosas con un material que resulte similar o el mismo que el de ellas*. En un sentido más amplio, soldar consiste en enmendar o reparar algo.

Una soldadura, por lo tanto, implica la unión de dos elementos: lo habitual es que se realice a través de la fusión. Es frecuente que se añada un plástico o un metal que, cuando se funde, termina uniendo ambas piezas. Este material que se agrega hace que la unión quede fija al enfriarse.

Para lograr la fusión y llevar a cabo la soldadura, pueden utilizarse diversos elementos como; un láser, ultrasonido, generar una llama con gas, al arco eléctrico o un proceso de fricción, entre otras opciones disponibles.

Soldar es unir o volver a unir las partes que forman parte de una estructura asegurando la continuidad de la materia entre ellas. Para asegurar y que se mantenga esta continuidad se utiliza generalmente la aportación de un material fundido que rellene el espacio que queda entre las piezas a unir.

La soldadura puede ser con material de aportación o sin material de aportación, como veremos ejemplificado en la siguiente ilustración:

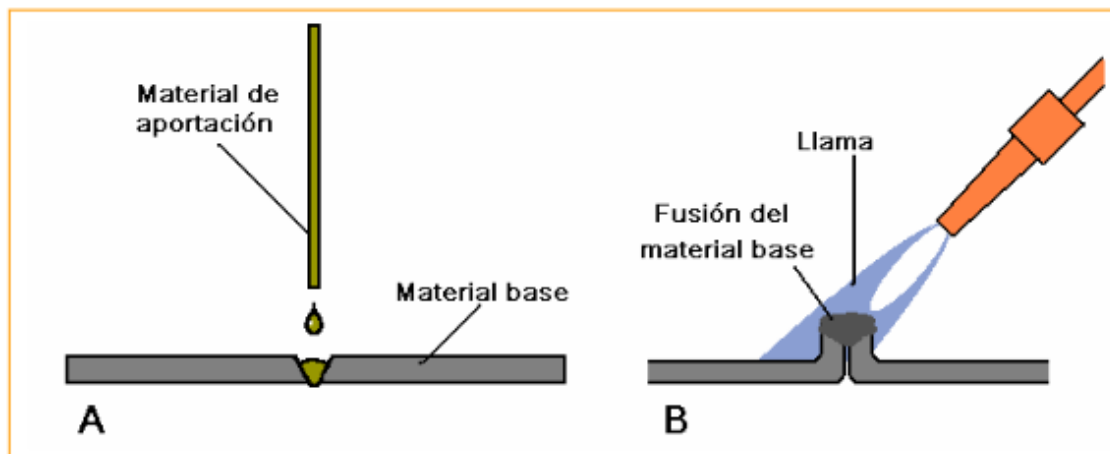


Figura 4 Soldadura con material aportación y sin material de aportación[11]

Se le llama *material base* al material de las piezas a unir, y material de aportación al que se intercala fundido entre las piezas para obtener dicha continuidad. Se puede soldar sin la aportación adicional de material, como se representa en la figura B, en el que el propio material base se va fundiendo con la aportación de calor y es este el que una vez fundido rellena el espacio entre piezas.

Al material fundido entre las piezas encargado de asegurar la continuidad recibe el nombre de *cordón de soldadura*. Dependiendo del procedimiento utilizado el cordón de soldadura podrá estar formado solo y únicamente por el material de aportación, ser todo de material base o por ambos simultáneamente.

Como la soldadura se lleva a cabo con aportación de calor, será necesario proteger la zona de la acción del oxígeno del aire: trabajando con altas temperaturas los materiales metálicos oxidan rápidamente, lo que originará o terminará provocando defectos en las soldaduras, lo que se traducirá en una unión débil. Antes de empezar a soldar es básica la limpieza de las piezas a unir para evitar la existencia de escoria o cuerpos extraños que imposibiliten o debiliten la unión.

La calidad y la durabilidad de la soldadura dependen de diversos factores. Entre ellos podemos destacar la concentración que utilizamos en la entrada de calor, el tipo de material de aportación, el diseño que se le da al empalme o unión y el método elegido para realizar la soldadura. Todos estos factores en su conjunto nos garantizaran obtener una soldadura de calidad y que cumpla con los requerimientos de la misma.

Para llevar a cabo una soldadura se necesita:

1. Aportar energía para calentar, fundir o deformar el material.
2. Aportar material, aunque como ya hemos visto, no siempre es necesario.
3. Limpiar y proteger la zona de unión. Eliminando los contaminantes existentes e impidiendo su formación durante el soldeo.

Las diferentes formas de conseguir estas funciones son las que dan lugar a distintos procesos de soldeo, pudiendo establecerse una subdivisión.

### 3.2 Clasificación procesos de soldadura

La soldadura puede llevarse a cabo en muchos y variados ambientes, como puede ser un ambiente industrial (talleres o fábricas), al aire libre en construcciones, aeronaves, buques, etc...se puede llevar a cabo también bajo el agua, en trabajos subacuáticos, incluso en el espacio en trabajos por ejemplo en estaciones espaciales.

Existen varios criterios diferentes para clasificar los diferentes procesos de soldadura, los más significativos son:

- Según el *método de soldadura*.
- Según la *naturaleza de los materiales*.

Esta sería una de las posibles clasificaciones, actualmente existen más de cien procesos de soldadura, y son muchos los criterios bajo los cuales podríamos agrupar y clasificar los distintos procesos.

Según el *método de soldadura* podemos dividir entre soldadura por *fusión* o por *presión*:

- *Soldadura por fusión*: es aquella en la que se calientan ambas piezas a unir hasta conseguir fundir las superficies a unir de ambas piezas.
- *Soldadura por presión*: se trata de ejercer presión sobre las dos piezas a unir, ayudada o no con algo de temperatura, hasta conseguir la unión de las mismas por debajo del punto de fusión.

Atendiendo a la *naturaleza de los materiales* que intervienen en la unión, se pueden clasificar las soldaduras en dos grandes grupos: *heterogéneas* y *homogéneas*.

- *Soldadura heterogénea*: Es aquella en la que tanto el material base y el de aportación son de distinta naturaleza, distintos materiales y de ahí su nombre. Incluso también pueden ser de distinta naturaleza las piezas a unir. Este proceso consiste en fundir el material de aportación e irlo depositando entre las piezas que vamos a unir. Las piezas no se funden, se encuentran en estado sólido en todo momento.

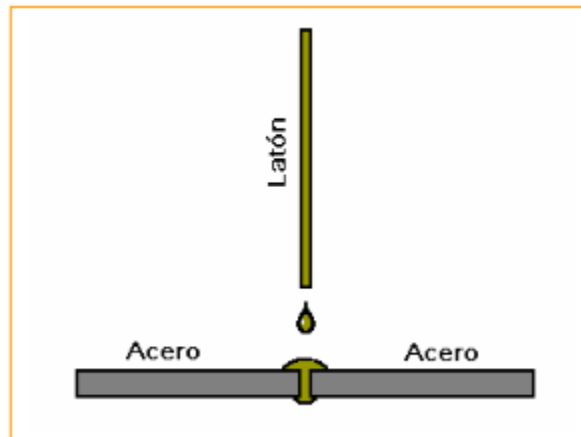


Figura 5. Soldadura heterogénea [11]

La soldadura heterogénea a su vez puede sub-dividirse en:

- *Soldadura blanda*: tipo de soldadura en la que el material de aportación funde a una temperatura inferior a 450° C.
- *Soldadura fuerte*: el material de aportación funde a una temperatura superior a 450° C. La soldadura fuerte recibe el nombre también *brazing* y es habitual ver este término en muchos manuales

*“Brazing”*: proceso de unión de dos piezas mediante calor y material de aportación que se funde a temperaturas superiores a los 427°C, lo que equivale a unos 800°F y por debajo del punto de fusión de las piezas que van a ser soldadas.[16]

Tanto la soldadura blanda como la fuerte, la energía utilizada para la aportación de calor es mediante llama generada con butano, propano o acetileno. La protección para evitar como ya hemos comentado entrada de oxígeno, se consigue mediante desoxidantes o decapantes, en forma líquida de pasta o polvo, que se extienden por la zona de unión y que además consiguen aumentar la fluidez del material de aportación.

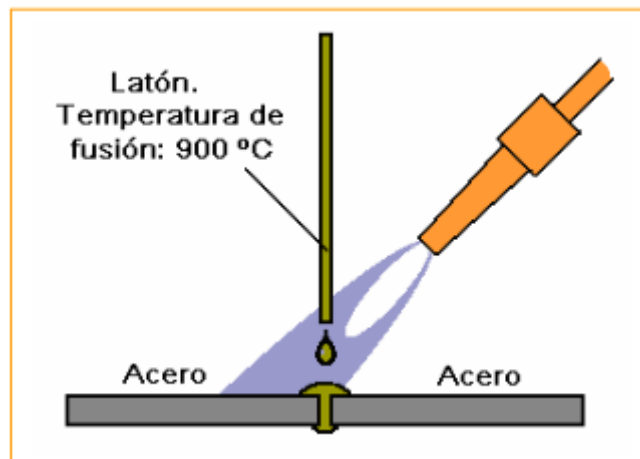


Figura 6. Soldadura fuerte [11]

- *Soldadura homogénea*: a diferencia de la soldadura heterogénea, en este caso y como su nombre indica, el material base y el de aportación son de la misma naturaleza. En este proceso de soldadura se van fundiendo los bordes de las piezas a unir y se va añadiendo el material de aportación en estado líquido, es decir, fundido. De esta forma nos aseguramos de no tener falta de material en la zona de unión. Durante el proceso de fusión se van mezclando el material base con el de aportación, esta mezcla líquida recibe el nombre de baño de fusión. Una vez el baño de fusión se vuelve en estado sólido constituirá el cordón de soldadura definitivo.

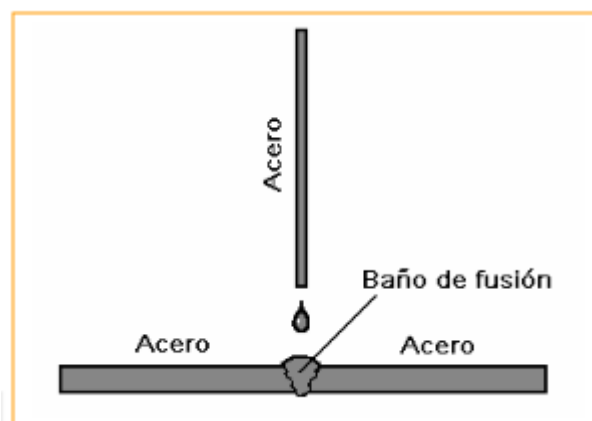


Figura 7. Soldadura homogénea [11]

Dentro de la soldadura homogénea podemos encontrar diferentes tipos de soldadura:

- *Soldadura con llama*: la fuente de calor en este caso, como su nombre indica es una llama. Un ejemplo de este tipo de soldadura sería la soldadura oxiacetilénica, en la que obtenemos una llama mediante la combustión de acetileno con oxígeno. La protección ante la oxidación la realiza la propia llama, ya que, dentro de la misma, existe una zona con ausencia de oxígeno evitando así la oxidación.

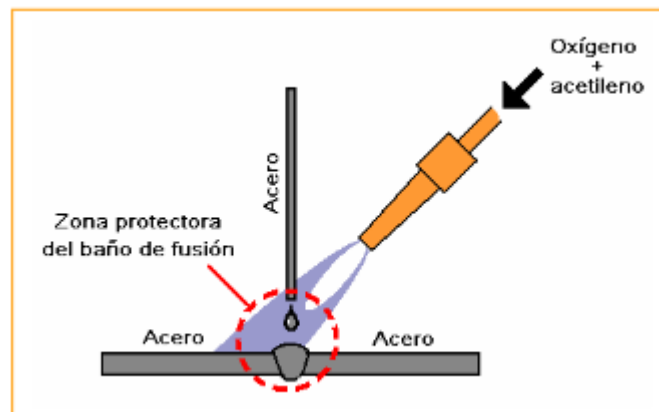


Figura 8. Soldadura Oxiacetilénica [11]

En la siguiente imagen podemos ver a modo resumen los tipos de soldadura anteriormente comentados y algunas de sus aplicaciones:

TIPOS DE SOLDADURA Y APLICACIONES...					
Soldadura	Tipo	Instrumento	T(°C)	Material de Aportación	Aplicaciones
BLANDA	Heterogénea	Soldador eléctrico	400	Aleación de estaño y plomo	Hojalata, chapas galvanizadas
FUERTE	Heterogénea	Soplete de gas	800	Latón o cobre	Aleaciones de plata, latón, cobre
OXIACETILÉNICA	Homogénea	Soplete oxiacetilénico	>3000	El mismo que el de las piezas que se van a unir	Láminas de acero o hierro

Figura 9. Tipos de soldadura y aplicaciones [17]

- *Soldadura por arco*: en este caso, la energía necesaria para la fusión la obtenemos gracias a la generación de un arco eléctrico entre un electrodo y la pieza. Un ejemplo de este tipo de proceso sería la soldadura manual con electrodo revestido, en la que el electrodo hace también de material de aportación al irse fundiendo gracias al calor que se genera con el arco eléctrico. La protección ante la oxidación la conseguimos gracias a una capa de escoria procedente del revestimiento y se va depositando sobre el baño de fusión. Una vez solidifica la unión, la escoria se retira mediante golpeo con una pica y cepillo.

Las soldaduras TIG y MIG-MAG también utilizan un arco eléctrico como fuente de calor, pero en ellas la protección se realiza mediante un gas. En las soldaduras TIG y MIG el gas utilizado normalmente es el Argón, en la soldadura MAG se utiliza el CO<sub>2</sub> o mezclas de éste con otros gases.

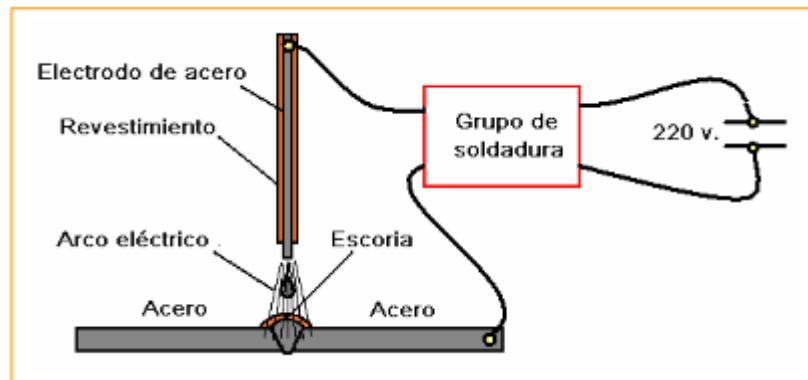


Figura 10. Soldadura arco manual con electrodos revestidos [11]

- *Soldadura en fase sólida*: las piezas se calientan para facilitar su unión, pero no se llegan a fundir, por lo que no existe cambio de estado en este proceso. Sencillamente se calientan para facilitar la unión aumentando la plasticidad del material, pero permanecen en estado sólido. Un ejemplo de este tipo de soldadura es la *soldadura a la forja*. En este tipo de soldadura se ejerce una elevada presión sobre las piezas superando la resistencia ejercida por las rugosidades superficiales hasta conseguir la unión. Se utiliza algún desoxidante para proteger la zona.

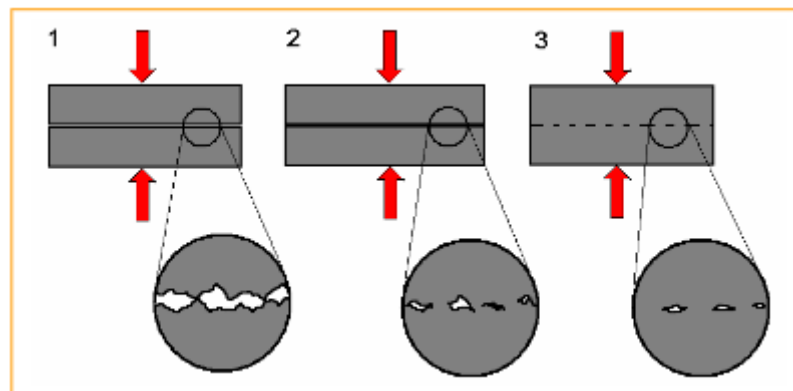


Figura 11. Soldadura a la forja[11]

- *Soldadura por resistencia*: en este caso se hace pasar una corriente eléctrica de reducido voltaje, pero elevada intensidad a través de las piezas que queremos unir. Como dichas piezas, el material del que están formadas ofrece resistencia eléctrica, estas se van calentando hasta conseguir acercarse a una temperatura en la que se empiezan a fundir los materiales, pero no llegando a un estado completamente líquido, en ese momento mediante presión manual o con maquinaria especializada conseguimos la unión mediante las piezas. Un ejemplo de este tipo de soldadura es la soldadura por puntos, se utiliza mucho en la industria del automóvil, en uniones de carrocerías, aviación.

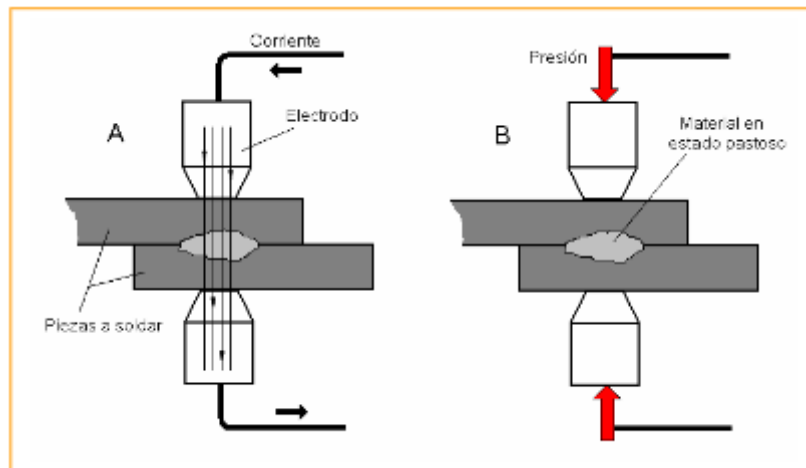


Figura 12. Soldadura por puntos[11]

Como se ha comentado anteriormente, los criterios de clasificación pueden ser muchos y variados, existen otras clasificaciones basadas en normativas, una según la normativa europea EN ISO y otra realizada por la AWS, la American Welding Society. [11]

### 3.3. Clasificación EN ISO 4063 y AWS

Existe normativa internacional en la que se hace una clasificación, en este caso se trata de la norma EN ISO 4063 (soldeo y técnicas conexas, Nomenclatura de procesos y números de referencia ISO 4063:2009, versión corregida 2010-03-01), que identifica a cada proceso con un número de referencia, formado por principales grupos de procesos (un dígito), grupos (dos dígitos) y subgrupos (tres dígitos). La referencia tendrá como máximo tres dígitos.

Como toda norma trata de estandarizar los procesos de tal modo que facilite información para documentaciones, elaboración de planos, etc. [29]



La siguiente tabla muestra los números de referencia y designaciones de los procesos más utilizados:

Nº Referencia	Designación	Nº Referencia	Designación
1	Soldado por arco	4	Soldado por presión
11	Soldado por arco sin protección gaseosa y electrodo de aporte	41	Soldado por ultrasonidos
111	Soldado por arco con electrodo revestido	42	Soldado por fricción
112	Soldado por gravedad con electrodo revestido	44	Soldado por alta energía mecánica
114	Soldado por arco con alambre tubular autoprotegido	441	Soldado por explosión
12	Soldado por arco sumergido	45	Soldado por difusión
121	Soldado por arco sumergido con un alambre electrodo	48	Soldado por presión en frío
122	Soldado por arco sumergido con banda electrodo	5	Soldado por haz de alta energía
124	Soldado por arco sumergido con adición de polvo metálico	51	Soldado por haz de electrones
125	Soldado por arco sumergido con alambre tubular	511	Soldado por haz de electrones en vacío
13	Soldado por arco protegido con gas y electrodo de aporte	512	Soldado por haz de electrones sin vacío
131	Soldado por arco con gas inerte; soldado MIG	52	Soldado láser
135	Soldado por arco con gas activo; soldado MAG	521	Soldado láser de estado sólido
136	Soldado por arco con alambre tubular y protección de gas activo	522	Soldado láser de gas
137	Soldado por arco con alambre tubular y protección de gas inerte	7	Otros procesos de soldado
14	Soldado con protección gaseosa y electrodo no consumible	71	Soldado aluminotérmico
141	Soldado por arco con gas inerte y electrodo de wolframio; soldado TiG	72	Soldado por electroscofia
15	Soldado por arco plasma	73	Soldado por electrogas
151	Soldado MIG por arco plasma	74	Soldado por inducción
152	Soldado por arco plasma con polvo	77	Soldado por percusión
2	Soldado por resistencia	78	Soldado de espárragos
21	Soldado por puntos	782	Soldado de espárragos por resistencia
22	Soldado por costura	783	Soldado de espárragos por arco inducido con férula cerámica o gas de protección
221	Soldado por costura a solape	784	Soldado de espárragos por arco inducido de ciclo corto
23	Soldado por proyecciones	785	Soldado de espárragos por arco inducido con descarga de condensadores
24	Soldado por chisporroteo	786	Soldado de espárragos con descarga de condensadores con ignición de la boquilla
25	Soldado a tope por resistencia	787	Soldado de espárragos por arco inducido con collarín fusible
3	Soldado por llama	788	Soldado de espárragos por fricción
31	Soldado oxigás	8	Corte y resanado
311	Soldado oxiacetilénico	81	Corte con llama
312	Soldado oxipropano	82	Corte por arco
313	Soldado oxidrónico	821	Corte por arco aire
		83	Corte con plasma
		84	Corte con láser
		86	Resanado con llama
		87	Resanado con arco
		871	Resanado con arco aire
		88	Resanado con plasma

Tabla 1. Clasificación procesos soldadura EN ISO 4063 [25]

### 3.4 Cuadro resumen de los procesos de soldadura y unión

En las siguientes tablas se resumen y quedan representadas con siglas los diferentes tipos de soldadura existentes:

<b>SOLDADURA POR ARCO (AW)</b>
Soldadura de pernos por arco <b>SW</b>
Soldadura con Hidrogeno atómico <b>AHW</b>
Soldadura por arco con electrodo desnudo <b>BMAW</b>
Soldadura por arco con electrodo de carbón <b>CAW</b>
Soldadura por arco con electrodo de carbón protegido por gas <b>CAW-G</b>
Soldadura por arco con electrodo de carbón protegido <b>CAW-S</b>
Soldadura por arco con electrodo de carbón gemelo <b>CAW-T</b>
Soldadura por electro gas <b>EGW</b>
Soldadura por arco con electrodo con núcleo de fundente <b>FCAW</b>
Soldadura por arco con electrodo con núcleo de fundente protegido por gas <b>FCAW-G</b>
Soldadura por arco con electrodo con núcleo de fundente auto protegido <b>FCAW-S</b>
Soldadura por arco metálico protegido por gas <b>GMAW</b>
Soldadura por arco metálico protegido por gas pulsado <b>GMAW-P</b>
Soldadura por arco metálico protegido por gas mediante corto circuito <b>GMAW-S</b>
Soldadura por arco de tungsteno protegido por gas pulsado <b>GTAW-P</b>

Tabla 2. Soldadura por arco [25]

### **OTRAS SOLDADURAS Y UNIONES**

Unión adhesiva **AB**

Soldadura con metales de aporte de soldadura fuerte **BW**

- Soldadura por arco con metales de aporte de soldadura fuerte **ABW**
- Soldadura por arco de carbón con metales de aporte de soldadura fuerte **CABW**
- Soldadura con metales de aporte de soldadura fuerte por haz de electrones **EBBW**
- Soldadura con metales de aporte de soldadura fuerte exotérmica **EXBW**
- Soldadura fuerte de flujo **FLB**
- Soldadura de flujo **FLOW**
- Soldadura con metales de aporte de soldadura fuerte con rayo láser **LBBW**

Soldadura con haz de electrones **EBW**

- Al alto vacío **EBW-HV**
- Al medio vacío **EBW-MV**
- Sin vacío **EBW-NV**

Soldadura de electro escoria **ESW**

- Soldadura de electro escoria con guía consumible **ESW-CG**

Soldadura por inducción **IW**

Soldadura por rayo láser **LBW**

Soldadura por percusión **PEW**

Soldadura por termita **TW**

Tabla 3. Otras soldaduras y uniones [25]

### **SOLDADURA CON OXIGENO Y GAS COMBUSTIBLE (OFW)**

Soldadura por aire acetileno **AAW**

Soldadura por oxígeno acetileno **OAW**

Soldadura por oxígeno hidrógeno **OHW**

Soldadura por gas a presión **PGW**

Tabla 4. Soldadura con oxígeno y gas combustible [25]

#### **SOLDADURA POR RESISTENCIA (RW)**

Soldadura por centello o chispa **FW**

Soldadura por resistencia controlada a presión **RW-PC**

Soldadura de costura por resistencia **RSEW**

- Soldadura de costura de alta frecuencia **RSEW-HF**
- Soldadura de costura por inducción **RSEW**
- Soldadura de costura de resistencia por aplastamiento **RSEW-MS**

Soldadura de puntos por resistencia **RSW**

Soldadura por recalcado **UW**

- De alta frecuencia **UW-HF**
- Por inducción **UW-I**

Tabla 5. Soldadura por resistencia [25]

#### **SOLDADURA EN ESTADO SOLIDO (SSW)**

Soldadura por coextrusión **CEW**

Soldadura en frio **CW**

Soldadura por difusión **DFW**

- Soldadura por presión isoestática en caliente **HIPW**

Soldadura por explosión **EXW**

Soldadura por forja **FOW**

Soldadura por fricción **FRW**

- Soldadura por fricción con impulso directo **FRW-DD**
- Soldadura por fricción agitación **FSW**
- Soldadura por fricción inercia **PRW-I**

Soldadura a presión en caliente **HPW**

Soldadura por rodillos **ROW**

Soldadura ultrasónica **USW**

Tabla 6. Soldadura en estado liquido [25]

**SOLDERING o SOLDADURA BLANDA (s)**

Soldadura blanda **DS**

Soldadura blanda en horno **FS**

Soldadura por inducción **IS**

Soldadura blanda por rayos infrarrojos **IRS**

Soldadura blanda con plancha **INS**

Soldadura blanda por resistencia **RS**

Soldadura blanda por antorcha **TS**

Soldadura blanda ultrasónica **USS**

Soldadura blanda con gas a presión **WS**

**Tabla 7. Soldering [25]**

### 3.5 Aplicaciones de los distintos procesos de soldeo

En la siguiente tabla podemos ver a modo de resumen los distintos tipos de soldeo explicados y clasificados anteriormente y algunas de las aplicaciones de cada uno de los procesos, así como los materiales que pueden ser unidos mediante cada proceso.

PROCESOS DE SOLDEO			MATERIALES A SOLDAR
Soldadura heterogénea	Blanda	Con estaño-plata	Cobre con cobre o cobre con latón.
	Fuerte	Con cobre-fósforo	Cobre con cobre.
		Con cobre-plata	Cobre con cobre, cobre con latón o cobre con acero
		Con latón	Aceros al carbono, aceros inoxidable y fundiciones.
Soldadura homogénea	Con llama	Oxiacetilénica	Chapa fina (1-6 mm) o tubos de acero al carbono.
	Por arco	Manual con electrodo revestido	Chapa de espesores medios y gruesos (mayor de 3 mm).
		TIG	Chapa fina o tubo de cualquier material metálico excepto zinc y berilio.
		MIG	Aceros al carbono e inoxidables de espesores medios y gruesos.
		MAG	Aceros y aluminio.
	En fase sólida	Forja	Piezas de poco espesor de acero al carbono.
	Por resistencia	Por puntos	Chapa fina de todos los metales excepto zinc, plomo y estaño.

Tabla 8. Aplicaciones distintos tipos de soldeo [11]

### 3.6 Capilaridad

El fenómeno de la capilaridad tiene lugar cuando un líquido en contacto con el extremo de un tubo muy estrecho –tubo capilar-, asciende por su interior, quedando el líquido a mayor altura que el nivel exterior.

Por ejemplo, si tenemos un recipiente que contenga líquido, y en el introducimos dos tubos, uno de mayor diámetro que el otro, observaremos que en el tubo de gran diámetro el nivel será el mismo que el del recipiente, mientras que en el tubo de diámetro reducido el nivel será superior.

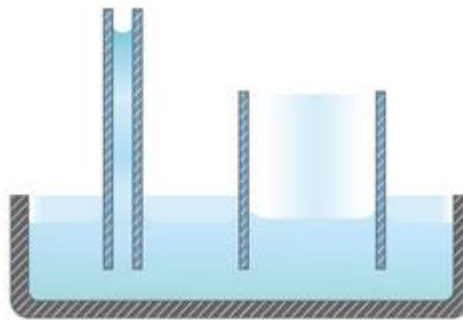


Figura 13. Capilaridad [6]

Siguiendo la lógica del ejemplo anterior, observaremos también que se cumple que a menor diámetro, mayor será el nivel, es decir mayor será la altura del líquido en el interior del tubo, el diámetro del tubo es inversamente proporcional a la altura a la que llegara el fluido.

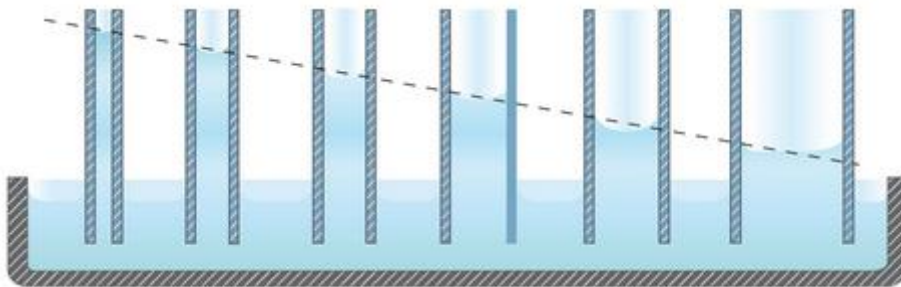


Figura 14. Relación diámetro altura [6]

Si sustituimos los tubos en un recipiente por dos tubos, uno encajado dentro del otro, es decir, uno de menor diámetro que el otro dejando cierta holgura entre ambos, observaremos que el fluido ascenderá por el espacio que hay entre ellos.

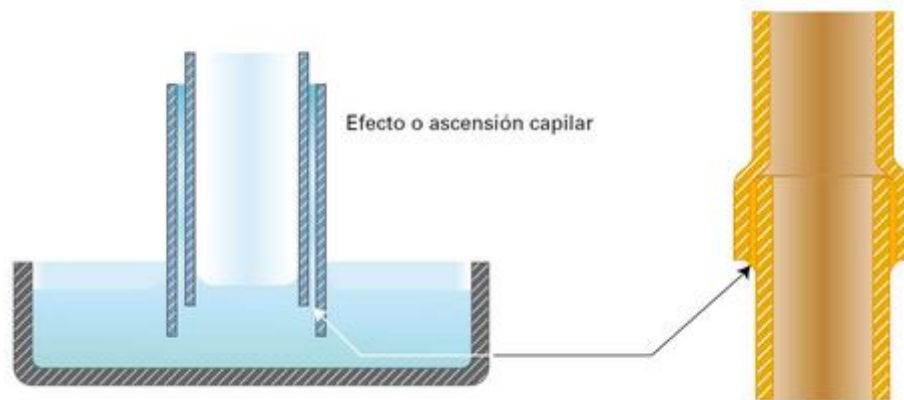


Figura 15. Efecto ascensión capilar [6]

Mediante la capilaridad, se puede explicar un proceso de soldadura blanda muy utilizado en trabajos de unión de tuberías o tuberías y accesorios, normalmente trabajando con cobre.

Los tubos de cobre se unen entre sí, introduciendo el de menor diámetro dentro del de mayor diámetro (figura A), dejando una pequeña holgura entre ambos que será rellenada con estaño fundido. El estaño entrara gracias al fenómeno explicado de capilaridad (figura B). Cuanto mayor sea la holgura o espacio que queda entre ambos tubos menor será la difusión del metal fundido. [6]

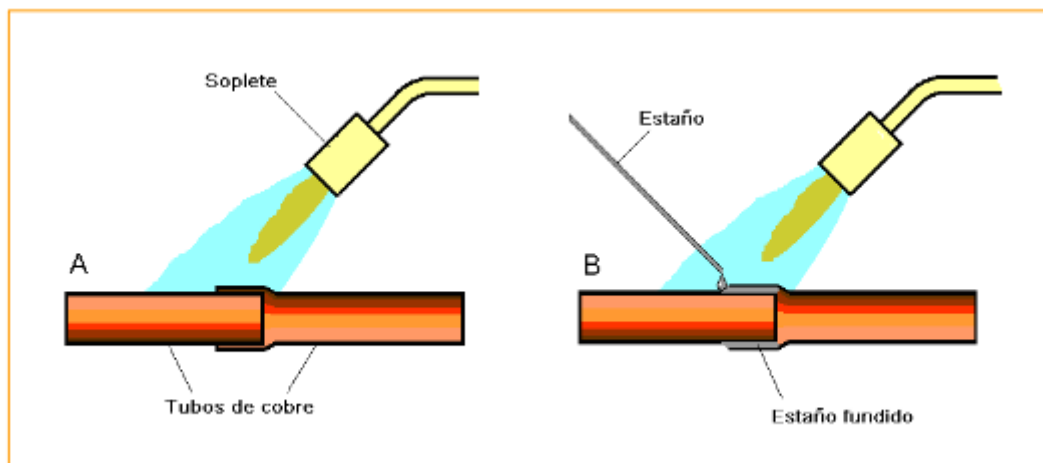


Figura 16 Aportación por capilaridad [11]

### 3.6.1 Gas

El *calor* necesario para la fusión del material de aportación y/o material base se obtiene de la combustión del gas butano o propano con la ayuda del oxígeno del aire como comburente.

El *gas* se suministra líquido en botellas de distintas capacidades, a las cuales se acopla una manguera que lo conduce hasta el soplete. Según el proceso de soldeo se utilizara un gas u otro.

El *aire* se introduce en el soplete a través de unos orificios ubicados en la lanza del mismo soplete. La salida del gas provoca la succión del aire que se encuentra en la atmosfera.



El butano y el propano tienen un poder calorífico similar, y su precio también lo es, por lo que estos aspectos no determinan la elección de uno u otro combustible. Sin embargo, su tensión de vapor es sensiblemente diferente, y es esta característica la que deberemos tener en cuenta en la elección.

La *tensión de vapor* es la que un gas ejerce en el interior de un recipiente coexistiendo con el estado líquido.

Así por ejemplo a 20° C la presión del butano es de 1,25 bar mientras que la del propano es de 6,5 bar.

En el siguiente grafico tenemos las presiones que toman el butano y el propano en función de la temperatura ambiente:

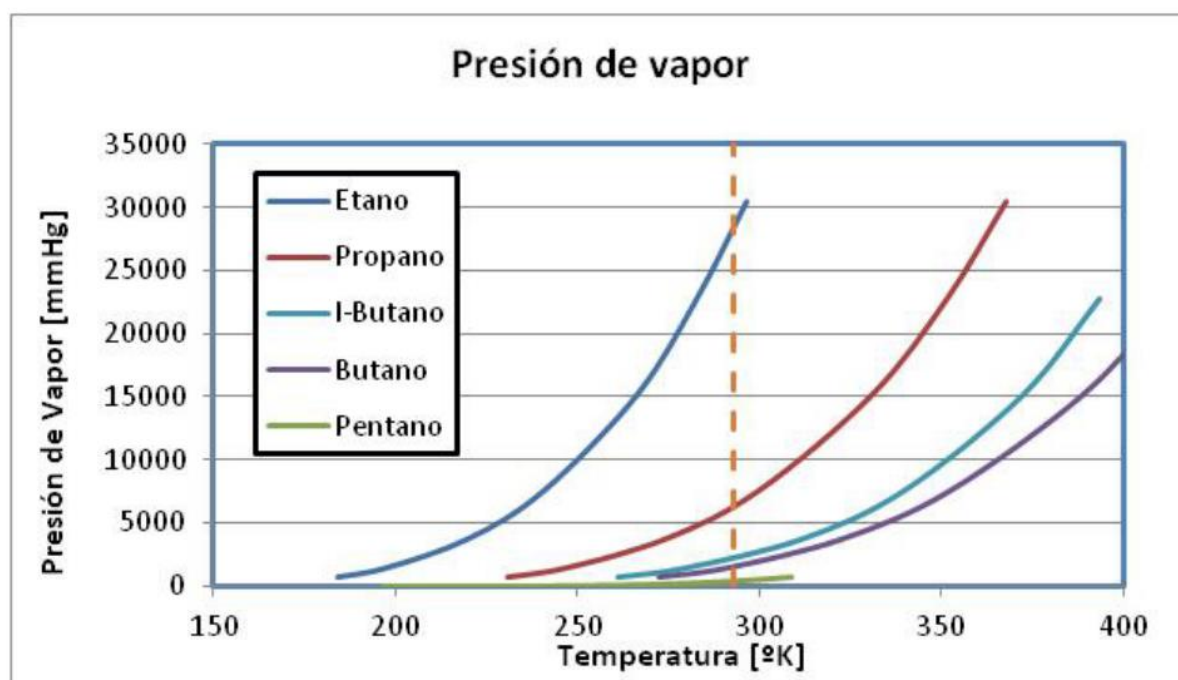


Figura 17. Grafico presión-temperatura [14]

Viendo el grafico podemos comprobar que la presión del butano es aceptable a temperaturas cercanas al ambiente, mientras que la del propano es excesivamente alta. Por esta razón si se utiliza propano será necesario instalar un regulador de presión a la salida de la botella, para poder reducir su valor.

Para la obtención de una llama adecuada es necesaria que la presión en el soplete esté en torno a 1 o 2 bar, si la presión es muy baja, la llama será poco potente por lo que tendremos problemas en la fusión del material de aportación, y si es muy alta originara problemas en la regulación de la llama.

Otra circunstancia que afecta a la presión en el interior de la botella de gas es la rapidez con la que se produce la vaporización. Cuando se extrae el gas de una botella de forma continua, la presión en su interior desciende ligeramente, pero no lo hace de forma indefinida, ya que al mismo tiempo se vaporiza parte del líquido tratando de recuperar la presión inicial. Existe, pues, un equilibrio entre la cantidad de gas extraído y la cantidad de gas que se evapora. Pero si extraemos más gas del que se puede vaporizar, la presión disminuirá hasta valores que harán imposible el mantenimiento de la llama.

Esta situación puede darse si la llama es muy grande o muy potente, o también si se conectan varios sopletes a una misma botella. La cantidad de gas extraído en la unidad de tiempo se llama caudal. El caudal de gas consumido suele expresarse en litros/hora, litros/ min, kg/h, etc.

### 3.6.2 Material de aportación

Como material de aportación entendemos que es todo aquel material utilizado para realizar el cordón de soldadura, es el que rellenará el espacio entre las piezas a unir. Según el tipo de soldadura, este se aportará de una manera u otra, es decir, o bien en el electrodo, o por ejemplo enrollado en una bobina y se ira alimentando de forma continua.

Debemos distinguir el núcleo del electrodo y revestimiento, y por otro lado la varilla de aporte y los fundentes, estos los usaremos dependiendo del tipo de soldadura que vayamos a utilizar.



Figura 18. Electrodo revestido [16]

De forma esquemática podemos tener:

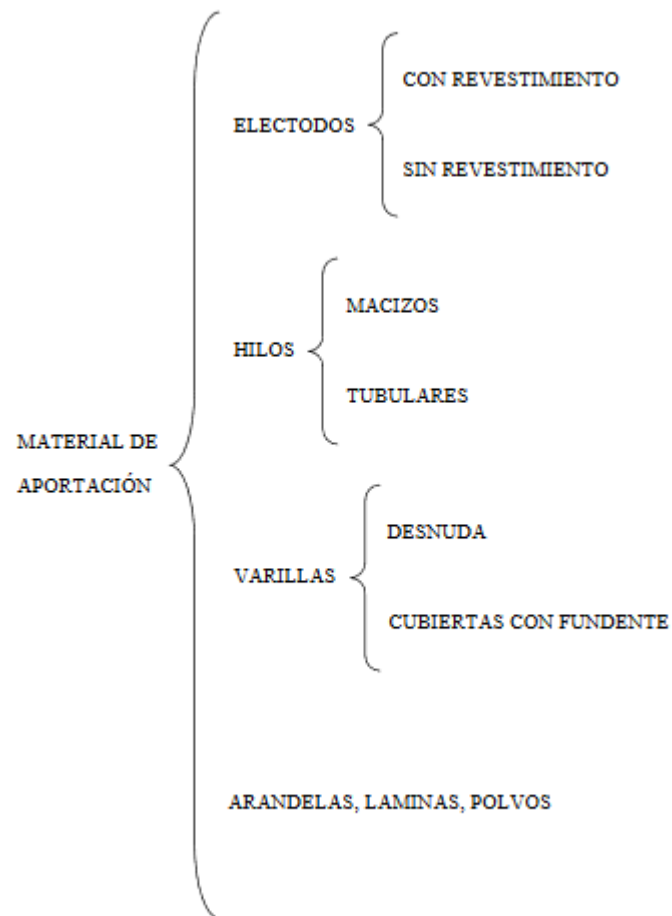


Figura 19. Clasificación material de aportación [8]

Un electrodo es una varilla metálica que se funde durante el proceso de soldadura y vuelve a pasar a estado sólido sobre el material base, formando el cordón de soldadura, es decir, aportando el material para realizar la unión. Como ya he comentado, este material de aportación debe tener propiedades iguales o muy similares a las del material base. La varilla recibe también el nombre de *núcleo* o *alma*, y está recubierta de una envoltura llamada *recubrimiento* o *revestimiento*, dejando libre una pequeña zona en un extremo que es donde sujetaremos mediante la pinza porta electrodos, y por donde circulara la corriente eléctrica, permitiendo obtener el arco eléctrico.

El revestimiento cubre el núcleo del electrodo, los materiales normalmente utilizados son: sales de potasio, silicatos de aluminio y magnesio, silicato de sodio, titanio y rutilo, entre otros.

Este revestimiento tiene varios objetivos:

- Actuar como desoxidante durante la soldadura.
- Estabilizar el arco eléctrico.
- Romper tensiones superficiales de las gotas del metal de aporte.
- Formar la capa de escoria que protege el cordón de soldadura.
- Evitar un rápido enfriamiento del cordón.

Para que el electrodo mantenga todas sus propiedades es de vital importancia tenerlos bien almacenados y manipularlos con cuidado evitando su desgaste.

Hoy en día existen una gran variedad de electrodos, y se pueden clasificar en función de:

- Del material del núcleo.
- Del diámetro.
- Del rendimiento.
- De la composición del revestimiento.

En *función del material del núcleo*, la elección del material del electrodo dependerá del material base que vamos a soldar.

En *función del diámetro*: esta elección viene determinada por la forma de los bordes y el espesor de las piezas a unir. Utilizaremos diámetros pequeños para espesores pequeños y viceversa.

- Delgados: de 1.5 a 3.25 mm de diámetro.
- Medios: de 3.25 a 5 mm de diámetro.
- Gruesos: de más de 5 mm de diámetro.

En *función del rendimiento*: se le llama rendimiento de un electrodo a la cantidad de material aportada en un cordón de soldadura, existe una relación denominada rendimiento gravimétrico:

**Rendimiento gravimétrico =  $\text{Peso material fundido depositado} / \text{Peso alma sin punta}$**

- Electrodo de rendimiento normal: su rendimiento gravimétrico puede alcanzar el 90%.
- Electrodo de rendimiento medio: su rendimiento gravimétrico está entre 90 y 120%.
- Electrodo de gran rendimiento: está por encima del 120%. [11]

En *función de la composición del revestimiento*:

- Revestimiento celulósico: formados básicamente por celulosa y aleaciones ferrosas (magnesio y silicio). La celulosa desprende gran cantidad de gases durante su combustión, lo que reduce la producción de escoria permitiendo soldaduras en posición vertical.  
Con este tipo de revestimiento obtenemos cordones de gran profundidad de penetración. Las características mecánicas obtenidos son óptimas, normalmente la corriente utilizada es corriente continua con polaridad inversa para conseguir una mayor estabilidad del arco.
- Revestimiento ácido: la composición química está basada en óxidos de hierro y aleaciones ferrosas de manganeso y silicio. No permite soldaduras en determinadas posiciones ya que se obtiene un baño muy fluido.  
Obtenemos buenas propiedades mecánicas, y se consigue un arco bastante estable, por lo que podemos usar tanto corriente continua como alterna.
- Revestimiento de rutilo: como su nombre indica está formado básicamente por este mineral, siendo su composición un 95% de bióxido de titanio ofreciendo elevada estabilidad del arco y buena fluidez del baño, obteniendo cordones de soldadura muy vistosos.  
Gracias a la elevada estabilidad del arco podemos utilizar tanto corriente continua como alterna.
- Revestimiento básico: formados por óxidos de hierro, aleaciones ferrosas y carbonatos de calcio y magnesio, añadiendo fluoruro de calcio para facilitar la fusión del baño.  
Obtenemos soldaduras con buenas propiedades mecánicas y de calidad.  
El fluoruro de calcio por otro lado desestabiliza el arco, se utiliza por tanto corriente continua en polaridad inversa. [11]

Para la identificación de los electrodos se creó un código internacional basado en una serie de dígitos colocados en lugares fácilmente visibles para una rápida identificación.

**E** **XX** **X** **X**

**E** Indica el electrodo de soldadura.

**XX** indica la resistencia del material depositado.

**X** indica las posiciones de soldeo:

- 1: todas las posiciones.
- 2: solo horizontales.
- 3: solo vertical descendente.

**X** indica el tipo de revestimiento:

- 1: celuloso.
- 2, 3,4: rutilo.
- 5, 6,8: básico.
- 7: ácido.

Si apareciera otro dígito significa que es para la soldadura de aceros aleados. [8]

En la siguiente imagen veremos un ejemplo práctico de nomenclatura de un electrodo:

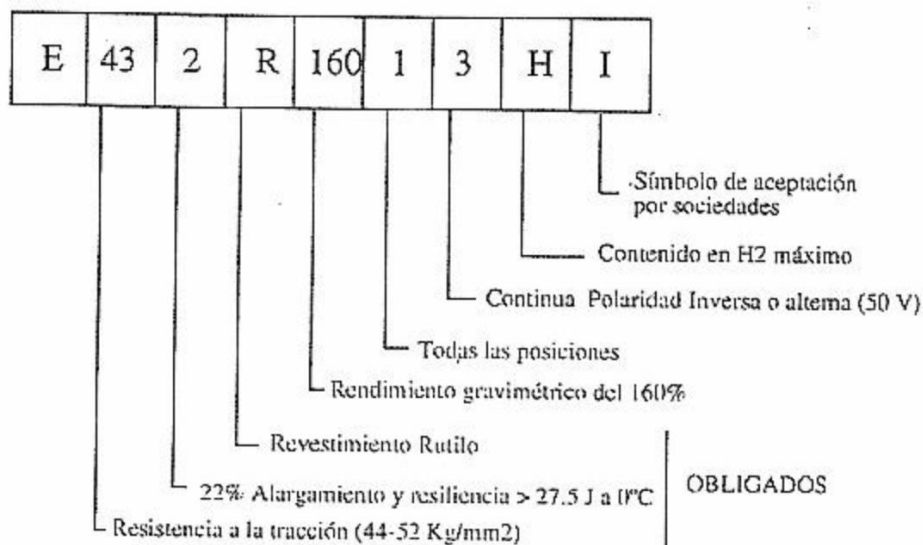


Figura 20. Ejemplo práctico [25]

En la siguiente tabla aparecen de forma resumida las características principales de los distintos tipos de electrodos.

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	APLICACIONES
Ácido	* bajo coste * arco estable * corriente CA y CC * escoria fácil de eliminar * elevada desoxidación * fácilmente conservables	* baño fluido * escaso efecto de limpieza * elevado aporte de hidrogeno * escoria no se puede refundir	* soldaduras en horizontal * aceros bajos en carbono y con poca presencia de impurezas * soldaduras económicas y con características mecánicas suficientes (buena robustez pero riesgo de grietas)
Rutilo	* bajo coste * arco estable * fácil cebado * corriente CA y CC * cordón estéticamente mejor * fácilmente conservables	* baño fluido * escaso efecto de limpieza * elevado aporte de hidrogeno	* soldaduras en horizontal * soldaduras en vertical y en esquinas para pequeños espesores * aceros bajos en carbono y con poca presencia de impurezas * soldaduras estéticamente buenas pero características mecánicas suficientes (buena robustez pero riesgo de grietas)
Celulósico	* elevada penetración * elevada manejabilidad * escoria reducida	* son necesarios generadores CC con elevada tensión en vacío * cordón irregular * elevado aporte de hidrogeno	* soldaduras en todas las posiciones, incluida la vertical descendiente * tubos o donde no sea posible el cordón al reverso * soldaduras en las que el acceso del electrodo resulta crítico * aceros bajos en carbono con escasa presencia de impurezas
Básico	* óptima limpieza del material * aporte de hidrogeno muy reducido * baño frío	* arco poco estable * escoria no se puede refundir y de difícil eliminación * arco corto y difícil de trabar * cebado difícil * generadores CC * de difícil conservación	* soldaduras en todas las posiciones, incluso con grandes espesores * elevadas velocidades de depósito * soldaduras de elevada calidad mecánica, incluso con materiales que contengan impurezas

Figura 21. Características electrodos [8]

*Electrodos desnudos:* con este tipo de electrodos es difícil establecer el arco de manera constante, además de conseguir un buen cordón sin revestimiento a lo largo de toda la pieza a soldar, se han utilizado para soldadura mediante maquinas, normalmente son de cobre o aleaciones de cobre, ya que es un buen conductor de la electricidad.

Otro tipo de electrodos desnudos son los de grafito, para soldaduras que no requieren aportación de material, en este caso no se realiza soldadura por arco. Lo que va fundiendo es la punta de grafito calentada por el paso de corriente. No se aporta material, pero el electrodo si se desgasta.

Para la soldadura TIG se utilizan otro tipo de electrodos desnudos, los llamados electrodos no consumibles, los que más se utilizan son los de tungsteno, volframio puro, volframio aleado con torio y volframio aleado con zirconio.

*Hilos macizos:* en este caso el electrodo es un hilo macizo metálico, pudiendo ser acero, acero aleado, inoxidable, aluminio, etc... pero de composición lo más parecida al metal base. Utilizando este tipo de electrodos se precisa del uso de gas de protección.

Estos electrodos vienen en bobinas de diferentes pesos, y viene enrollado en diferentes capas y hay de diversos diámetros según la máquina que lo va a utilizar o de la pieza a soldar. Normalmente viene recubierto de una fina capa de cobre cuyo objetivo es:

- Disminuir los rozamientos.
- Proteger el hilo contra la oxidación y el deterioro de este.
- Favorecer el contacto eléctrico entre la boquilla de contacto y el hilo.

*Hilos tubulares:* como su nombre indica el electrodo es un hilo tubular hueco, con envoltura metálica y el material elegido de este dependerá del material base a soldar, en su interior contendrá un fundente cuyas funciones vienen a ser las del revestimiento de un electrodo.

Este fundente aporta elementos que se comportaran como desoxidantes, mejoraran el cebado y la estabilidad del arco. Con este tipo de hilos se pueden soldar casi todo tipo de materiales y se comercializan de distintas formas.



**Figura 22. Tipos de hilos tubulares [8]**

*Varilla desnuda:* podemos hacer un símil con lo que sería el núcleo o alma del electrodo, pero sin revestimiento. Podemos diferenciar de dos tipos:

- Varilla de aportación para soldadura oxiacetilénica: utilizado como material de aportación en la soldadura heterogénea, puede ser de materiales diversos, y debe reunir varias propiedades como resistencia mecánica de la soldadura, capaz de mojar el metal base, tener una buena temperatura de fusión y fluidez. Para la realización de uniones con estos materiales de aportación se requiere la utilización de fundentes para eliminar oxidación entre otras funciones.
- Varilla de aportación para soldadura TIG: en la soldadura TIG esta varilla es el material de aportación encargado de conseguir la unión, por lo que es de vital importancia que dicha varilla

este limpio, no contaminado y sin humedad. A diferencia del anterior tipo de varilla, esta no requiere de fundente.

*Varilla cubierta con fundente:* varilla similar a un electrodo, material compuesto formado por alma y recubrimiento.

*Arandelas, láminas, polvos:* estos materiales pueden ser colocados de forma manual o automática, hay de muchas medidas y se comercializan en forma de láminas, arandelas o polvos. Dependiendo del tipo de junta o unión, del método de calentamiento y si será un proceso manual o automatizado.

- Láminas: se colocan antes de realizar el trabajo, una vez fundido el material se aplica presión.

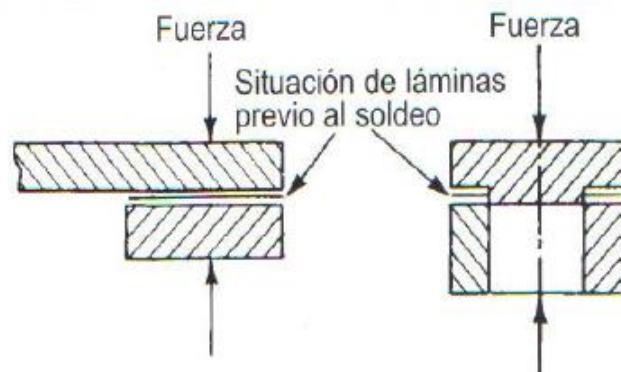


Figura 23. Láminas [8]

- Arandelas: aplicamos fundente sobre la arandela, de forma que cuando empecemos a soldar se funda a lo largo de toda la junta.

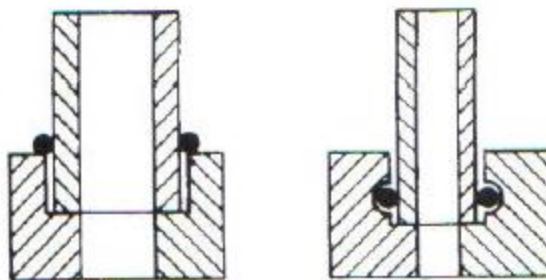


Figura 24. Arandelas [8]

- Polvos: igual que en los dos casos anteriores, aplicamos fundente tras haber puesto material de aportación en forma de polvo. Una vez empezamos a soldar va fundiendo.



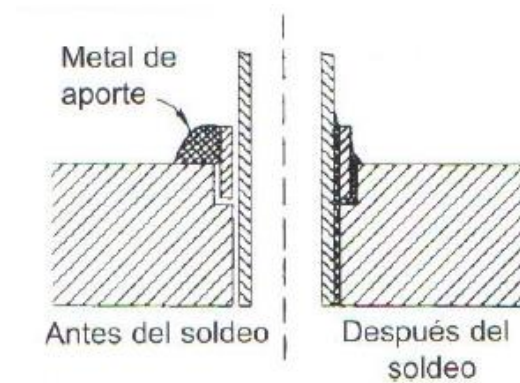


Figura 25. Polvos [8]

### 3.6.3 Decapante o desoxidante

Se utilizan para proteger la zona a soldar ya que estas sustancias decapantes tienen las siguientes funciones:

- Evitar que se forme oxidación durante la aportación de calor.
- Facilitar la eliminación de óxidos o escoria que pueda tener la zona a soldar.
- Disminuye tensiones superficiales una vez fundido el material de aportación, aumentando la capacidad de mojar el material base.

El *mojado* es la capacidad que tienen los líquidos de extenderse por la superficie de un material. Hay que tener en cuenta que un mismo líquido no tiene la misma capacidad de mojado sobre superficies de distintos materiales.

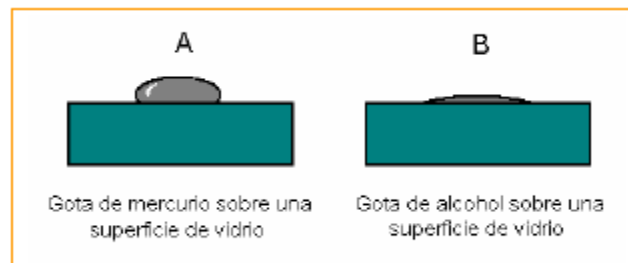


Ilustración 1 Capacidad *mojado* [11]

Un ejemplo de la importancia de la limpieza de las superficies mediante un decapante y/o desoxidante sería el caso del estaño, formaría bolas que no mojarían el cobre, por lo que no quedaría adherido al mismo impidiendo la soldadura. Lo mismo nos pasaría en el caso de utilizar decapante, pero lo dejamos de un día para otro, ya que este perderá sus propiedades.

El calentamiento excesivo del decapante también provoca una pérdida de eficacia del mismo.

Los desoxidantes los podemos encontrar en varios formatos, ya sea gel, pasta o líquido.

### 3.6.4 Equipo de soldadura blanda

El equipo de soldadura blanda consta de los siguientes elementos:

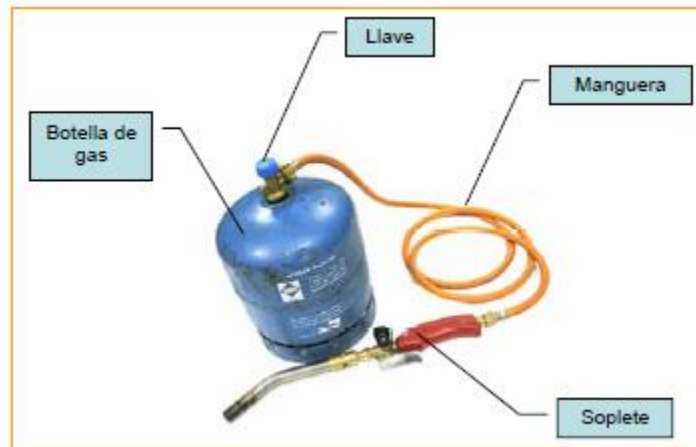


Figura 26. Equipo soldadura blanda [11]

- *Botella de butano o propano:* generalmente se utilizan botellas pequeñas tipo “camping” ya que son muy manejables. Dependiendo de la cantidad a soldar elegiremos un tamaño de botella u otro. Los modelos más pequeños utilizan cartuchos de gas a los que se les acopla directamente el soplete.



Figura 27. Equipo pequeño [11]

- *Llave de apertura y cierre de botella:* la llave de apertura y cierre va roscada a la botella de gas abriendo o cerrando el paso del gas hacia la manguera. La conexión para la manguera se realiza mediante un racor.
- *Regulador de presión:* Los equipos de propano necesitan reducir la presión de salida del gas a temperatura ambiente. Para ello se requiere la instalación de un regulador de presión a la salida de la botella. Existen de dos tipos, los de presión de salida fija y los de presión de salida regulable.

Las botellas de butano no necesitan regulador de presión debido a que su presión no es nunca excesivamente alta a temperaturas ambiente normales.

- *Manguera:* su función es llevar el gas hasta el soplete para su combustión. Es de material flexible y tiene un racor en cada extremo.

- *Soplete*: es el encargado de mezclar el gas con el oxígeno del aire, extrayendo la mezcla por la boquilla para que se produzca la llama con la forma e intensidad deseadas.
  - Para dar forma a la llama se utilizan distintos tipos de boquilla, como pueden ser: boquilla de antorcha, boquilla de dardo, boquilla circular...

#### 3.6.4.1 Técnica operatoria

A continuación, explicare los pasos a efectuar en una soldadura blanda para la unión de dos tubos. En el apartado anterior ya hemos visto el funcionamiento y el equipo, vamos a ver a ahora los pasos a seguir. Utilizo este ejemplo ya que en muchas embarcaciones encontramos instalaciones realizadas con tuberías de cobre o latón, y suele ser una operación bastante habitual la reparación de las mismas.

El primer paso es preparar las piezas a unir, si no tenemos los tubos cortados a medida, lo primero será cortarlos, preferiblemente con un cortatubo. El cortatubo nos proporcionara un corte limpio con pocas aristas, pero si nos quedaran unas rebabas que reducen el diámetro del tubo, por lo que debemos eliminarlas.

El siguiente paso es la limpieza, ya he explicado la importancia de tener las superficies limpias para obtener un buen resultado con la soldadura. En el caso de tubería de cobre, la limpieza basta con un lijado fino mediante estropajo de lana metálica o lija de grano fino, eliminando cualquier resto de óxido. Una vez limpio, aplicamos desoxidante por la superficie del tubo mediante un pincel, e introduciremos el tubo de menor diámetro, aplicando un giro para conseguir que el desoxidante se extienda bien y quede repartido por el intersticio entre tuberías. Recordar no dejar pasar mucho tiempo antes de realizar la soldadura ya que el desoxidante perderá las propiedades.

Procedemos a la aportación de calor mediante soplete regulando la llama. El color idóneo de la llama es un color azulado, mostrando una zona más intensa cerca de la boquilla.



Figura 28. Llama soplete [11]

En la figura de la izquierda tendríamos una buena llama, mientras que en la otra imagen tendríamos una llama donde la combustión se da con poco o ausencia total de oxígeno, lo que no nos serviría.

Con la llama idónea la acercaremos a la zona de unión de ambas tuberías hasta ver que el decapante empieza a hervir. Hay que vigilar no calentar excesivamente ya que podríamos quemar el decapante y no podríamos soldar. Ya podemos empezar a fundir el material de aportación al ponerse en contacto con el tubo caliente, no por el contacto directo con la llama. El estaño empezará a fundir se irá introduciendo en el intersticio por capilaridad. En este paso también retiramos la llama ligeramente.



Figura 29. Soldadura estaño [11]

Una vez terminado enfriamos la zona soldada mediante un trapo húmedo.

### 3.6.5 Soldadura fuerte

Como ya he comentado, la soldadura fuerte es aquella en la que el material de aportación funde a temperaturas superiores a los 450 °C.

Para conseguir estas temperaturas el calor es aportado por una llama de butano, propano o acetileno, utilizando el oxígeno como comburente, pero a diferencia de la soldadura blanda, este oxígeno no es el atmosférico, sino que es alimentado por botella a presión.

#### 3.6.5.1 Material de aportación

El *material de aportación* en este tipo de soldadura pueden ser diferentes aleaciones de cobre, entre las que podemos destacar *cobre-fósforo*, o *cobre-plata*. El fósforo actúa como desoxidante por lo que con este tipo de material de aportación podemos no utilizar decapantes. La plata en cambio aumenta la fluidez y disminuye el punto de fusión. El porcentaje de plata en la aleación puede variar desde el 2% hasta el 50%.

A estas aleaciones básicas se les añade otros metales con diversas finalidades como pueden ser reducir temperatura de fusión o aumentar fluidez.

Dependiendo de la composición el punto de fusión variara, pero mayoritariamente oscila entre los 600 y 800°C.

El material de aportación viene en varillas de distintos diámetros y longitudes.

#### 3.6.5.2 Decapante o desoxidante

Para este tipo de soldadura el decapante es en forma de polvo. La forma de aplicarlo es humedeciéndolo con agua destilada hasta formar una pasta y después extenderla por la zona a soldar.

Existen varillas que ya tienen el decapante adherido lo que permite aportar el material y el decapante al mismo tiempo, lo que permite trabajar con mayor rapidez y comodidad aportando la cantidad optima de desoxidante.

### 3.6.5.3 Equipo de soldadura fuerte

El equipo de soldadura está formado por los siguientes elementos:



Figura 30. Equipo soldadura fuerte [11]

- *Botella de combustible*: el combustible utilizado puede ser butano, propano o acetileno. Lo tendremos a presión en botellas, los tres gases tienen un poder calorífico similar. La elección se basará en el precio y/o disponibilidad del mismo.
- *Botella de comburente*: como ya se ha comentado, el oxígeno en este caso será alimentado de forma forzada, lo tendremos también a presión en botella. La razón de presurizarlo es que se puede almacenar gran cantidad del gas en un volumen reducido. Tenemos distintos tamaños de botellas como se muestra en la siguiente tabla:

**Denominación:** Oxígeno (O<sub>2</sub>)

**Pureza:** ≥ 99,5 %

**Normativa:** ISO 14175 - 01 - 0

**Forma de suministro:** Botellas de acero

Capacidad Litros	Diámetro mm	Altura con tulipa mm	Peso total aprox. llenas kg	Presión llenado bar (15 °C)	Contenido gas m <sup>3</sup>
50*	229	1.640	88	300	15,3
50*	229	1.640	82	200	10,6
33*	229	1.080	67	300	10,1
20	204	940	34	200	4,2
10	140	950	20	200	2,1
5	140	610	12	200	1

\* Se puede suministrar en botella con sistema compacto.

**Bloques de botellas**

Tipo	Capacidad bloque litros	Medidas Alto x Ancho x Largo mm	Peso total aprox. llenos kg	Presión llenado bar (15 °C)	Contenido gas m <sup>3</sup>
12 x 50	600	1.943 x 990 x 750	1.158	200	127,2

**Botellas Easy Gaz**

Capacidad Litros	Diámetro mm	Altura mm	Peso total aprox. llenas kg	Presión llenado bar (15 °C)	Contenido gas m <sup>3</sup>
5	140	610	12	200	1

**Identificación:** Botellas con cuerpo de color gris RAL 7037 y ojiva de color blanca RAL 9010, con la etiqueta indicativa del producto.

**Clasificación de  
Transporte / ADR:** Clase 2,1 °0 N° UN 1072

**Conexión:** Válvula de la botella,  
Easy Gaz y del bloque: hembra R 5/8" W 22,9 x 1/14" (derechas) ITC EP-6, Tipo F.  
Botella compacta: enchufe rápido (EN 561-ISO-7289-0)

<b>Factores de conversión:</b>	m <sup>3</sup> gas (1 bar y 15 °C)	litros gas licuado (en equilibrio a 1 bar)	kg
	1	1,172	1,337
	0,853	1	1,141
	0,748	0,876	1

**Tabla 9. Ejemplo botellas oxígeno [16]**

- **Manorreductor:** la función de este elemento es la de reducir la presión a la salida de la botella para poder trabajar cómodamente con el soplete y trabajar a presiones que no dañen el material del equipo. El manorreductor incorpora los siguientes elementos:

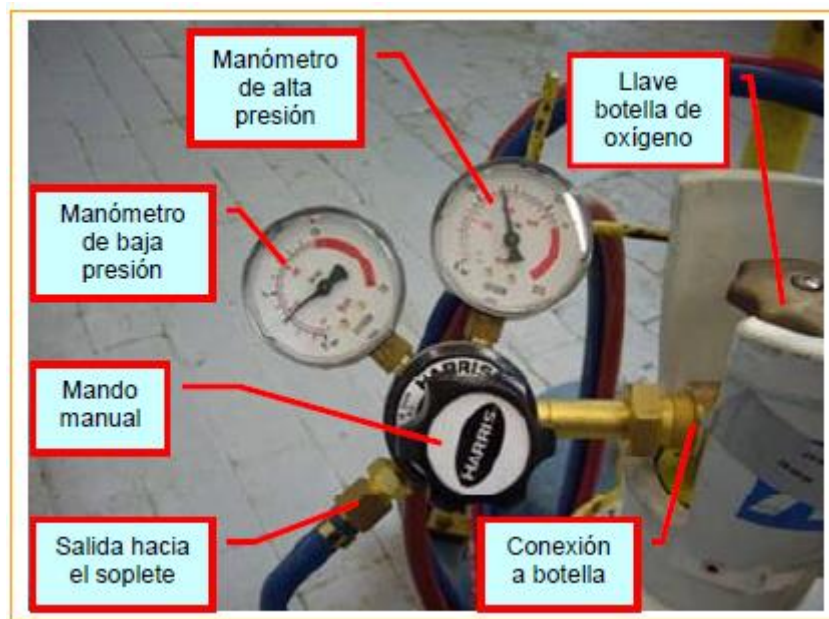


Figura 31. Elementos manorreductor [5]

- *Mangueras*: su función es la conducir los gases desde las botellas hasta el soplete. Son de materiales flexibles e incorporan racores de conexión rápida en los extremos permitiendo las conexiones.
- *Soplete*: su función principal es mezclar los gases en la proporción adecuada y con la presión requerida obteniendo una llama óptima.

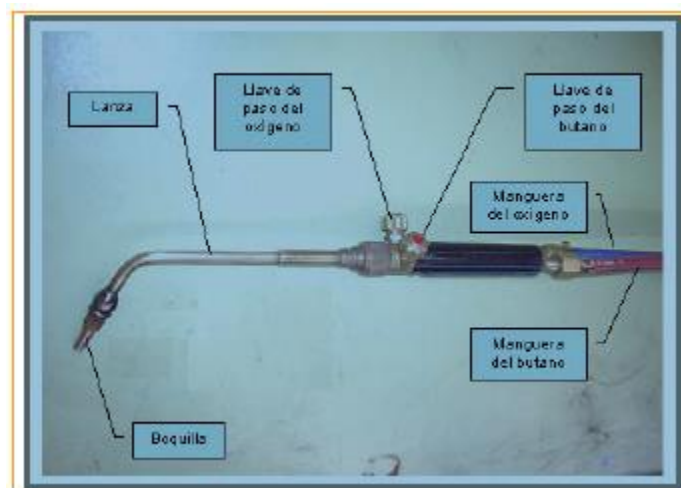


Figura 32. Soplete [1]

Es importante poder regular bien la llama, una llama optima tendrá un color azul, la llama la regularemos en el soplete abriendo o cerrando en mayor o menor medida las llaves que dan paso a los distintos gases. En la siguiente imagen veremos tres tipos de llama, siendo la llama B la óptima:



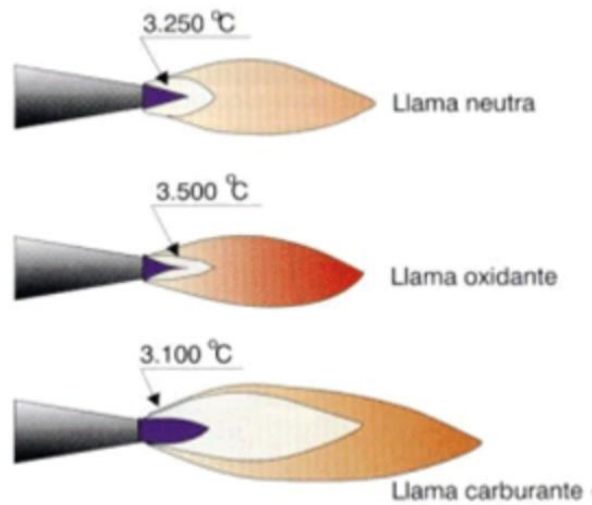


Figura 33. Tipos de llama [13]

### 3.7 Elección del método soldeo

Según los materiales a unir o los objetivos de la soldadura elegiremos un proceso u otro de soldadura. En la siguiente tabla vemos de forma esquemática una de las múltiples posibilidades de clasificación de los distintos procesos de soldadura que tenemos.



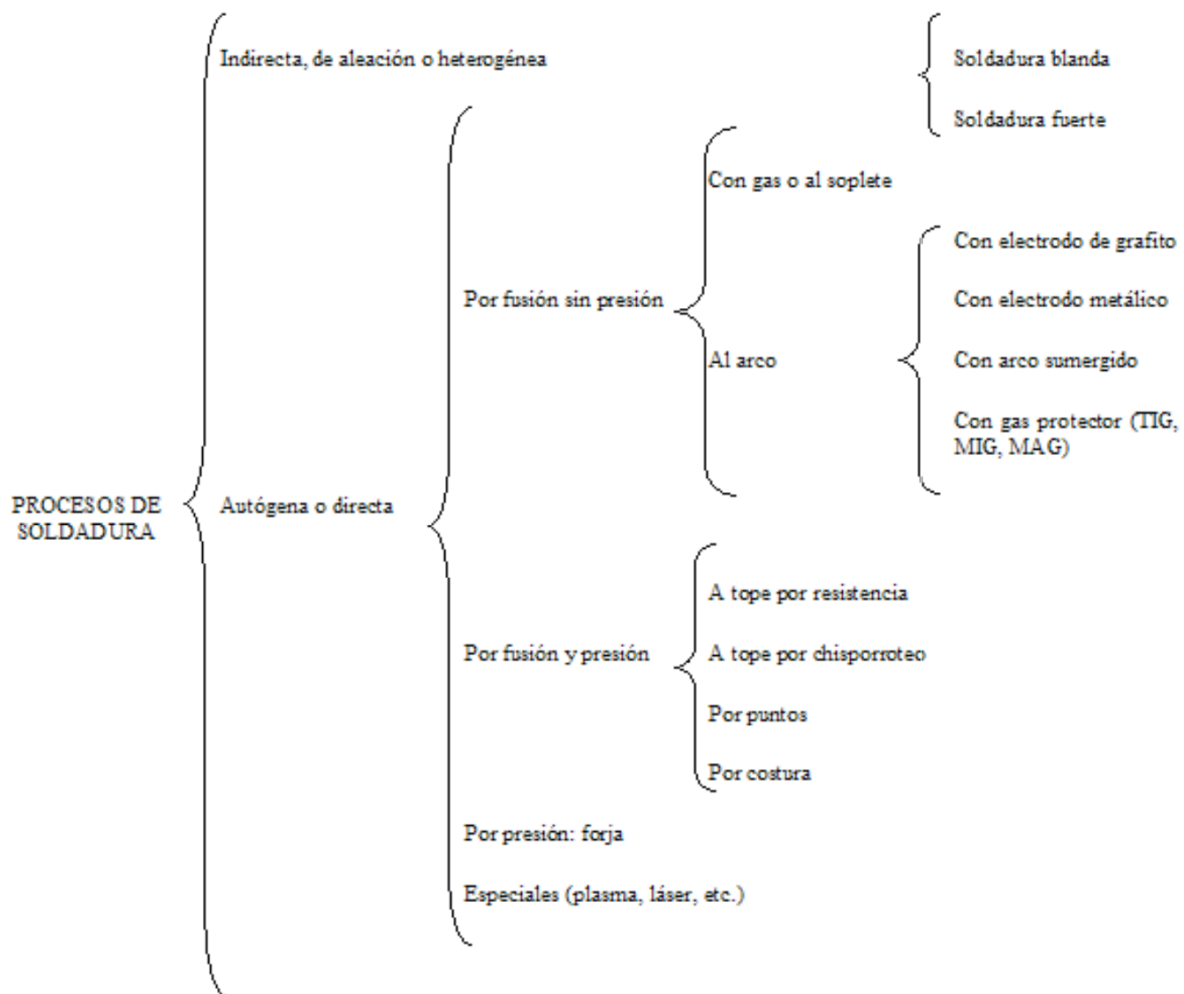


Figura 34. Tipos de soldadura [8]

La unión por soldadura tiene un amplio campo de aplicación en muchas y diversas industrias, veamos, por ejemplo:

- Vehículos de automoción: podemos utilizar MAG, TAG, plasma, laser, resistencia por puntos, presión en frío, soldeo fuerte, unión adhesiva, unión mecánica, procesos híbridos...
- Equipos de presión: electrodo revestido, TIG/TAG, MIG/MAG, arco sumergido, laser, soldeo de termoplásticos, aceros no aleados, aceros aleados, etc...
- Vehículos ferroviarios: MIG/MAG, TIG/TAG, resistencia por puntos, unión adhesiva...
- Estructura metálica: electrodo revestido, MIG/MAG, TIG/TAG, uniones adhesivas

Cada proceso de soldadura tiene una serie de características propias, dependiendo de estas características nos decantaremos por un método u otro. Estas características pueden ser el coste, temperatura alcanzada, resistencia de la soldadura, corrosión, posición o facilidad para ejecutar la soldadura.

El método de soldadura elegido dependerá del *tipo de material que se utilice*, la *fuerza que se desee obtener entre las uniones*, *propiedades mecánicas*, entre otros. Puede ser con y sin aporte de material a las piezas unidas, donde el material de aporte es de igual o diferente tipo a las partes a unir. Es importante considerar que la soldadura cambia la estructura física de los materiales que se suelden, por lo que cambiara alguna de las propiedades de los materiales que se están uniendo.

El método elegido dependerá principalmente de:

1. Materiales base a unir y sus propiedades.
2. Complejidad de la soldadura: que tamaño y posición deberá ejecutarse la soldadura.
3. Lugar en el que se efectuara la soldadura: de que dispondremos en la ubicación final donde ejecutaremos la soldadura, suministros, temperatura, espacio, etc...
  - *Soldadura plana*: el metal de la soldadura se deposita sobre el metal base, este actúa como soporte.
  - *Soldadura horizontal*: el metal base da solo soporte parcial. El metal de la soldadura que se deposita debe usarse como ayuda.
  - *Soldadura vertical*: el metal base actúa como un soporte parcial solamente, y el metal que ya ha sido depositado debe usarse como ayuda.
  - *Soldadura sobre la cabeza*: el metal base sostiene difícilmente al metal de la soldadura depositado.
4. Coste de la soldadura. En este apartado interviene varios factores, como es el coste de los materiales y equipo necesario, el coste del transporte hasta el lugar donde se realizará la soldadura, si se requerirá personal más cualificado.
5. Capacitación del personal.

No debemos olvidar nunca la seguridad en el trabajo, independientemente del método de soldadura elegido. Más adelante veremos el equipo necesario para llevar a cabo una soldadura de forma segura, y toda la regulación existente para realizar dicha soldadura de forma certificada. [5]

### 3.8 Posiciones de soldadura

Las posiciones de soldeo quedan reguladas por la norma EN ISO 6947:2011 (Posiciones de trabajo. Definición de los ángulos de pendiente y de rotación). Posiciones de Soldeo, *Welding and allied processes-Welding positions*. En esta normativa queda definido finalmente el término de *posición de soldeo* tanto para posiciones de ensayo como para posiciones de trabajo. A diferencia de las posiciones de ensayo donde las posiciones de soldeo principales se indican con rangos de pendientes y rotación más estrictos, las posiciones de trabajo se han definido con una nueva nomenclatura y nuevos rangos de pendiente y rotación, permitiendo mayores tolerancias.

La nueva edición de la Norma EN ISO 6947 incluye múltiples anexos para facilitar la interpretación de la misma y da las equivalencias con la Norma Americana AWS A3.3 y ASME BPVC la sección IX.

Destacar la creación de tres nuevas designaciones que corresponden a posiciones de soldeo en uniones circunferenciales de tubos fijos.

posición principal en tubo fijo NO inclinada	ISO 6947:1993	EN ISO 6947:2011
Vertical ascendente (unión longitudinal)	PF	PF
Ascendente (unión circunferencial)		PH
Vertical descendente (unión longitudinal)	PG	PG
Descendente (unión circunferencial)		PJ
Orbital (unión circunferencial)	-	PK

**Tabla 10. Modificación normativa EN ISO 6947 [25]**

En soldadura existen distintas posiciones de soldeo, tanto en ángulo o de rincón designadas con la letra F y la soldadura a tope designada con la letra G según la normativa americana (A.W.S.). Según la normativa europea (U.N.E.) siempre se denomina con la letra P.

- Posición 1F (UNE = PA). Soldadura acunada o plana y una de las chapas inclinadas a 45º más o menos.
- Posición 2F (UNE = PB). Soldadura horizontal y una de las chapas en vertical.
- Posición 3F (UNE = PF). Soldadura vertical con ambas chapas en vertical; en la normativa americana tanto la soldadura ascendente como descendente sigue siendo la 3F, pero en la normativa europea la soldadura vertical ascendente se denomina PF y en vertical descendente se le denomina PG
- Posición 4F (UNE = PD). Soldadura bajo techo.

#### 3.8.1. Posiciones de soldeo de chapas a tope

- Posición 1G (UNE = PA). Chapas horizontales, soldadura plana o sobremesa.> Posición 2G (UNE = PC). Chapas verticales con eje de soldaduras horizontales, o también denominado de cornisa.
- Posición 3G (UNE = PF). Soldadura vertical ascendente, soldadura vertical descendente (PG).
- Posición 4G (UNE = PF). Soldadura bajo techo.

#### 3.8.2 Posiciones de soldeo en tubería

- Posición 1G (UNE = PA). Tuberías horizontales, con movimiento de rotación o revolución; soldadura "plana", el depósito del material de aporte se realiza en la parte superior del tubo o caño.

- Posición 2G (UNE = PF). Tuberías verticales e inmóviles durante el soldeo, o también denominado de cornisa.
- Posición 5G (UNE = PF). Tuberías horizontales e inmóviles; Esta posición abarca todas las posiciones, soldadura plana, vertical y bajo techo.
- Posición 6G (UNE = H-L045). Tuberías inmóviles con sus ejes inclinados a 45º más o menos; Esta soldadura abarca: soldadura bajo techo, vertical y plana.
- (UNE = J-L045). Tuberías inmóviles con sus ejes inclinados a 45º más o menos; Esta soldadura abarca: soldadura plana, vertical descendente y bajo techo.
- (UNE= K-L045). Tuberías inmóviles con sus ejes inclinados a 45º más o menos; Esta soldadura abarca: soldadura plana, vertical descendente, bajo techo, vertical ascendente y plana
- Posición 6GRTuberías inmóviles con sus ejes inclinados a 45º más o menos con anillo restrictor con una distancia de 127mm; Se realiza en tuberías de 6" pulgadas su anillo es de 300mm de circunferencia.

### **3.8.3 Posiciones de soldeo en tubería en ángulo con chapas**

- Posición 1F (UNE = PA). Conjunto con movimiento de rotación eje del tubo inclinado a 45º más o menos. Soldadura plana, el material de aporte se deposita en la parte superior.
- Posición 2F (UNE = PB). Conjunto inmóvil durante el soldeo, tubo vertical; Soldadura horizontal.
- Posición 2FR. Conjunto con movimiento horizontal de rotación. Soldadura plana o sobremesa
- Posición 4F (UNE = PD). Conjunto inmóvil durante el soldeo, tubo vertical; Soldadura bajo techo.
- Posición 5F (UNE = PF,PG). Conjunto inmóvil durante el soldeo; Soldadura bajo techo, vertical ascendente y soldadura plana.

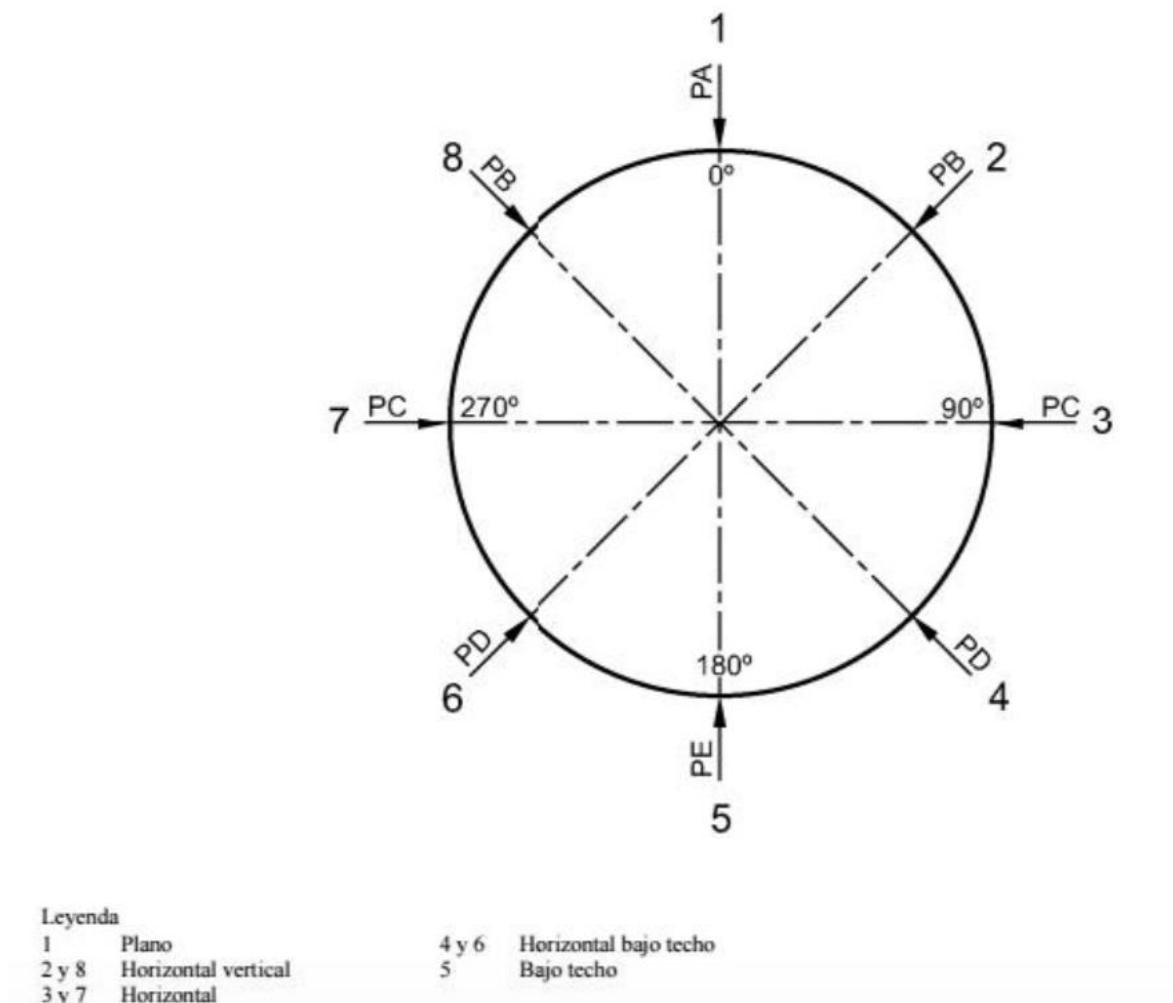


Figura 35. Posiciones soldadura [25]

Posición de soldeo	Posición principal de soldeo	Pendiente <i>S</i>	Rotación <i>R</i>
Plana	PA	$\pm 15^\circ$	$\pm 30^\circ$
Horizontal	PC	$\pm 15^\circ$	$+60^\circ$ $-10^\circ$
Bajo techo	PE	$\pm 80$	$\pm 80$
Vertical	PF, PG	$+75^\circ$ $-10^\circ$	$\pm 100^\circ$ $\pm 180^\circ$

Tabla 11. Rangos de pendiente y rotación para las posiciones de soldeo en producción de soldaduras a tope. [25]

Posición de soldeo	Posición principal de soldeo	Pendiente <i>S</i>	Rotación <i>R</i>
Plana	PA	$\pm 15^\circ$	$\pm 30^\circ$
Horizontal vertical	PB	$\pm 15^\circ$	$+15^\circ$ $-10^\circ$
Horizontal	PC	$\pm 15^\circ$	$+35^\circ$ $-10^\circ$
Horizontal bajo techo	PD	$\pm 80^\circ$	$+35^\circ$ $-10^\circ$
Bajo techo	PE	$\pm 80^\circ$	$\pm 35$
Vertical	PF, PG	$+75^\circ$ $-10^\circ$	$\pm 100^\circ$ $\pm 180^\circ$

Tabla 12. Rangos de pendiente y rotación para las posiciones de soldeo en producción de soldaduras en ángulo.  
[25]

## Capítulo 4. Procesos de soldadura

# GTAW/TIG - Tungsten Inert Gas welding

En este capítulo se explicará que es la soldadura TIG, funcionamiento de la misma y todo el equipo y normativa vigente aplicable a este método de soldeo. Tan importante es conocer el funcionamiento y empleo como utilizar todo el equipo de protección pertinente.

### 4.1 Principios del proceso

Método de soldadura por fusión, mediante arco eléctrico, gas de protección y material de aportación.

En esta clase de arcos, un gran número de electrones fluyen desde el polo negativo al positivo en una fracción de segundo. Estos electrones de alta velocidad colisionan con cualquier obstáculo que encuentran a su paso generando un arco extremadamente caliente capaz de fundir cualquier metal o aleación.

Este método de soldadura por fusión se denomina TIG de las siglas en inglés *Tungsten Inert Gas*, soldadura por arco con electrodo de tungsteno no consumible y protección con gas inerte.

El método TIG requiere gas inerte para proteger la pipeta líquida y el electrodo de la oxidación por el aire circundante.

Este método puede ser utilizado para soldar la mayoría de los metales y aleaciones, tanto manualmente como automáticamente.

La soldadura TIG suele utilizarse para aplicaciones de alta calidad, puede ser usada tanto en trabajos de fabricación como de reparación. El método TIG no solo produce un metal depositado de alta calidad, sino que también produce cordones suaves y sin salpicaduras ni formación de escoria, lo que proporciona un acabado visual muy elegante.

#### 4.2 Equipo/unidad para soldadura TIG

El equipo necesario para realizar la soldadura TIG está formado por tres componentes principales:

- Una fuente de poder o unidad de alta frecuencia.
- Una antorcha o soplete.
- Una fuente de protección gaseosa.
- Suministro de agua de enfriamiento.

### EQUIPO

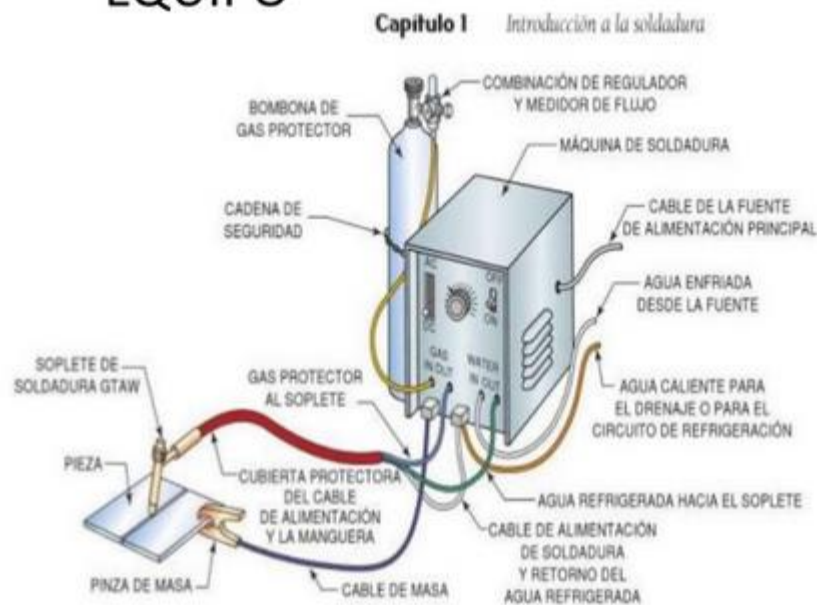


Figura 36. Equipo soldadura TIG [18]

La fuente de poder provee la corriente requerida para encender el arco y establecer un circuito cerrado. El gas protector es dirigido hacia el extremo del electrodo de tungsteno para mantener el arco y proteger la pipeta y el electrodo.

La antorcha distribuye el gas protector y sostiene el electrodo.



### 4.3 Gas protector para la soldadura

La principal tarea del gas protector es proteger la pipeta y el electrodo de ser perjudicados por el aire circundante. Sin el gas protector adecuado en la zona del arco no es posible el mantenimiento de un arco estable, la facilidad de ionización del gas protector es también necesaria para el proceso de soldadura.

Antes de empezar a hablar de los gases utilizados para la soldadura TIG, debemos tener en cuenta unas consideraciones generales acerca de los mismos.

Los gases empleados en este proceso de soldeo, son como su nombre indica, gases inertes. Sin embargo, en algunas ocasiones se pueden emplear pequeñas proporciones de un gas activo (hidrogeno).

Los gases inertes empleados deben reunir unas buenas condiciones, como tener una densidad apropiada con el fin de dar una buena protección, proporcionar buena conductividad térmica y energía de ionización en el arco.

Dependiendo del material a soldar, dimensiones y condiciones de soldeo elegiremos el gas más adecuado para el soldeo de acuerdo a:

- *Densidad:* a mayor densidad, será necesario menor caudal de gas para obtener una buena protección ya que tendremos una mejor cobertura de la zona de soldeo.
- *Conductividad térmica:* como indica su nombre, es la mayor o menor facilidad de transmisión del calor. A mayor conductividad térmica, mejor homogeneidad en el reparto de temperaturas en el arco, consiguiendo un cordón más ancho y con una penetración más uniforme y mayor. Igualmente, en caso de que la pistola esté refrigerada por el gas, nos mejora la refrigeración.
- *Energía de ionización:* los gases, en presencia de un arco eléctrico, separan sus átomos o moléculas de forma reversible en iones y electrones, formando una columna conductora llamada plasmática. La energía necesaria para que esto se produzca la proporciona el arco voltaico, es la energía de ionización, que será diferente para cada gas.

Es decir, que, si la energía de ionización es baja, la tendencia del elemento es a perder electrones y dar iones positivos, si la energía de ionización es muy elevada, la tendencia de dicho elemento es de ganar electrones y dar iones negativos.

Resumiendo, a mayor energía de ionización, mayor dificultad de establecimiento del arco, peor estabilidad de éste y mayor calor transmitido a la pieza.

#### 4.3.1 Los gases de protección

Los gases empleados como protección, que pueden utilizarse tanto solos como mezclados son:

Argón	Ar
Helio	He
Mezclas de Argón + Helio	Ar + He
Mezclas de Argón + Hidrogeno	Ar + H
Mezclas de Argón + Nitrógeno	Ar + N

**Tabla 13. Gases de protección [26]**

En la soldadura TIG el gas más utilizado es el argón, ya que es un gas ionizable a bajas temperaturas.

El argón es el tercer miembro del grupo 0 en la tabla periódica. Los elementos gaseosos de este grupo se llaman gases nobles, inertes o raros, aunque en realidad el argón no es raro. La atmósfera de la Tierra es la única fuente de argón; sin embargo, se encuentran trazas de este gas en minerales y meteoritos. El argón constituye el 0.934% del volumen de la atmósfera de la Tierra.

El argón es incoloro, inodoro e insípido. En condiciones normales es un gas, pero puede licuarse y solidificarse con facilidad.

Otra ventaja del argón es que puede ser transportado masivamente en estado líquido hacia los grandes consumidores.

El Helio puede ser utilizado también en soldadura TIG, este es agregado al argón para aumentar la energía del arco, en Europa se utiliza menos, ya que este se obtiene en pozos en América y su coste resulta muy elevado debido al transporte.

Normalmente se prefiere el Argón (Ar) puro a las otras soluciones, por las siguientes ventajas:

1. Favorece la estabilidad del arco
2. Limpieza de superficies en metales ligeros
3. Coste relativamente bajo
4. Requiere vanos más bajos para proporcionar el mismo blindaje
5. Penetración reducida (particularmente útil en la soldadura manual en espesores bajos)

Estas ventajas se deben a las siguientes propiedades del gas Argón:

- *Alta densidad*: esto proporciona una buena protección. Este gas es 1,4 veces más denso que el aire, proporciona una buena cobertura y es menos sensible a las corrientes de aire que el helio, lo que también permite trabajar con caudales más bajos.
- *Reducida energía de ionización*: fácil cebado, buena estabilidad de arco y muy apto para pequeños espesores. Esta característica nos facilitará el cebado y nos dará una excelente estabilidad de arco con pocas proyecciones.
- *Reducida conductividad térmica*: mala penetración y cordones estrechos. Esta característica, además de lo mencionado, nos dará una mala refrigeración en las pistolas al no ceder el calor, por lo que es muy necesario que sean refrigeradas por agua.

El Helio tiene otras propiedades:

- *Muy baja densidad*: protección del arco con más dificultad. Su densidad, es diez veces inferior a la del Argón, lo que obliga al empleo de caudales de 2 a 2,5 veces al requerido para el Argón.
- *Alta energía de ionización*: poca estabilidad de arco y mal cebado. En general es adecuado para el soldeo de grandes espesores por esta característica, ya que en éste la estabilidad de arco es menos importante, dados los altos amperajes a emplear.
- *Alta conductividad térmica*: buena penetración y amplitud de cordones. Igualmente nos proporcionará una mejor refrigeración de la pistola.

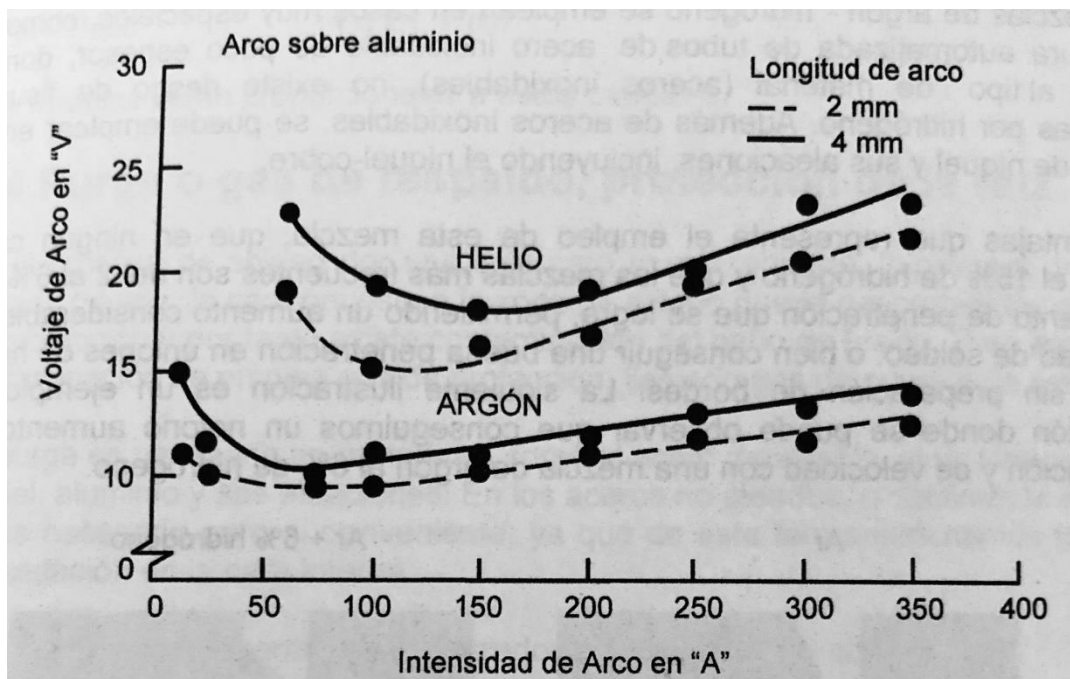


Figura 37. Relación de voltaje e intensidad con argón y helio [26]

#### Mezcla de Argón + Helio:

Esta mezcla puede oscilar, en función de los materiales a soldar y a las aplicaciones, en una proporción entre 30% y 70%, en algunos casos puede llegar al 90%. Tiene la ventaja fundamental de poder aumentar la velocidad de soldeo, o bien la penetración, ya que tiene un mejor aporte térmico del arco. En la siguiente imagen podemos apreciar como empleando una mezcla del 50% podemos aumentar al doble la velocidad de soldeo con una mejora en la penetración.

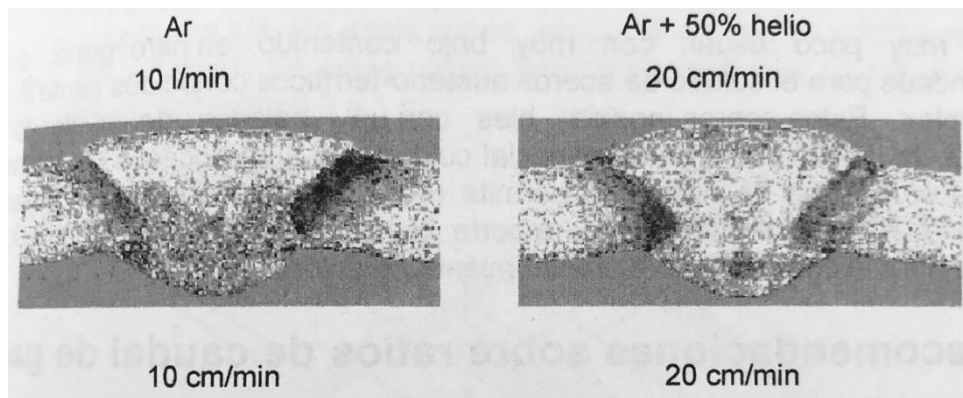


Figura 38. Mezcla argón + 50% de helio [26]

La aplicación más usual de esta mezcla se da en el soldeo de aluminio y sus aleaciones; con alta densidad de helio en el cobre y sus aleaciones.

*Mezcla de Argón + hidrogeno:*

Estas mezclas se utilizan en casos muy especiales, como la soldadura automatizada de tubos de acero inoxidable de poco espesor, donde debido al tipo de material (aceros inoxidables) no existe riesgo de fisuras inducidas por hidrogeno. Además de aceros inoxidables, se puede emplear en el soldeo de níquel y sus aleaciones, incluyendo el níquel-cobre.

Las ventajas de utilizar esta mezcla, que en ningún caso supera el 15% de hidrogeno y que las mezclas más utilizadas son del 2 al 6%, es el aumento de penetración que se logra, permitiendo un aumento considerable de velocidad de soldeo, o bien conseguir una buena penetración en uniones de hasta 4 mm sin preparación de bordes. A continuación, vemos el aumento de velocidad de soldeo conseguido con una mezcla de argón al 6% de hidrogeno:

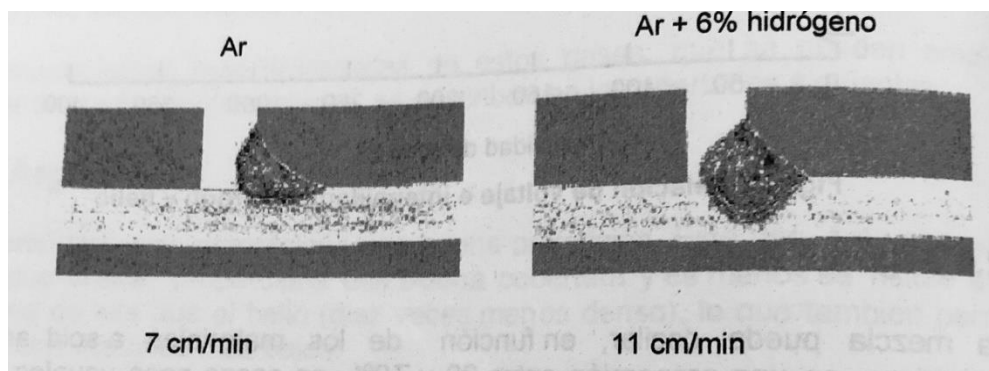


Figura 39. Velocidad soldeo mezcla Argón + 6% Hidrogeno [26]

### Mezcla de Argón + Nitrógeno:

Se trata de una mezcla muy poco usual, con un muy bajo contenido de nitrógeno, que es recomendable para el soldeo de aceros austeno-ferríticos conocidos como dúplex y superduplex. Estos aceros inoxidables requieren un especial cuidado en sus procesos de soldeo. El factor primordial es el de control de aporte térmico.

Los caudales de gas protector deben ser determinados por el técnico de soldadura, especialmente sobre la base de su propia experiencia y pruebas dirigidas al trabajo particular y a la geometría particular de cada proceso de soldeo.

**Identificación de botellas de gas para soldadura**  
Basado en UNE-EN 1089-3

Color de ojiva:	Color de ojiva:	Color de ojiva:	Color de ojiva:	Color de ojiva:	Color de ojiva:	Color de ojiva:	Color de ojiva:
Verde intenso (RAL 6018)	Rojo (RAL 3000)	Verde oscuro (RAL 6001)	Marrón (RAL 8008)	Gris (RAL 7037)	Negro (RAL 9005)	Blanco (RAL 9010)	Rojo óxido (RAL 3009)
<b>Mezclas de argón sin hidrógeno*</b> Ferroline C8 Ferroline C18 Ferroline C25 Ferroline X4 Ferroline C6 X1 Ferroline C12 X2 Ferroline C5 X5 Inoxline C2 Inoxline C2 Inoxline He15 C2 Inoxline C3 X1 Inoxline N2 Inoxline He3 H1* Aluline He15 Aluline He30 Aluline He50 Aluline He70 Aluline He15 N	<b>Mezclas de argón con hidrógeno</b> Inoxline H3 Inoxline H5 Inoxline H7  <b>Formigas con hidrógeno</b> Formigas H5 Formigas H10 Formigas H15 Formigas H20  <b>Gases de combustión</b> Hidrógeno Propano Propileno	<b>Argón</b> Argón técnico Argón 4.6 Argón 5.0 Argón 5.7 Argón 6.0	<b>Helio</b> Helio 4.6 Helio 5.0	<b>Dióxido de carbono</b> Dióxido de carbono	<b>Nitrógeno</b> Nitrógeno técnico Nitrógeno 4.5 Nitrógeno 5.0	<b>Oxígeno</b> Oxígeno técnico Oxígeno 4.5 Oxígeno 5.0	<b>Acetileno</b> Acetileno

\* Mezclas de argón con un contenido mínimo de hidrógeno que pueden llenarse en botellas de gases inertes.

**UN 1956**  
Gases comprimidos, no inflamables, no tóxicos  
Riesgo de asfixia si el oxígeno está desplazado del aire. Riesgo en caso de que haya menos del 18% de oxígeno en el aire.

**Ferroline C122**  
Gases comprimidos, inflamables, no tóxicos  
Riesgo de incendio si se calienta o se expone a la llama. Riesgo de explosión si se calienta o se expone a la llama.

**Pictogramas denominación incompleta**

	<b>N° 2.2</b> Gases no inflamables, no tóxicos Riesgo de asfixia si el oxígeno está desplazado del aire. Riesgo en caso de que haya menos del 18% de oxígeno en el aire.
	<b>N° 5.1</b> Materias comburentes Riesgo de fuerte reacción. Puede llevar a incendios al estar en contacto con materias inflamables. Riesgo, que ha estado en contacto con altas concentraciones del gas, puede inflamarse fácilmente.
	<b>N° 2.1</b> Gases inflamables Riesgo de incendio si se calienta o se expone a la llama. Riesgo de explosión si se calienta o se expone a la llama.
	<b>GHS04</b> Gases a presión Gas comprimido, licuado o disuelto. Depositar en un lugar con buena ventilación.

Nota: Si se indica la etiqueta de peligro 2.2, no es necesario añadir la de GHS 04.

Messer Ibérica de Gases SAU  
Autovía Tarragona-Salou, km. 3,8  
43480 Vilaseca (Tarragona)  
Tel. +34 977 309 500  
Fax +34 977 309 501  
info.es@messergroup.com  
www.messer.es

Part of the Messer World

Figura 40. Identificación botellas gas soldadura [6]

### 4.4 Métodos para la eliminación de la capa de óxido de aluminio

- Métodos mecánicos
- Métodos eléctricos
- Métodos químicos.

**Métodos mecánicos:** un cepillo de acero inoxidable o de alambre de latón es la herramienta usada para frotar la superficie del aluminio, tanto antes de empezar a soldar como luego, entre pasadas de

soldadura. Debemos asegurarnos de usar el cepillo exclusivamente para esta tarea de limpiar el aluminio y de guardarlo en un lugar separado para no introducir contaminantes.

**Métodos eléctricos:** si usamos una soldadura TIG con fuente de corriente alterna, el ciclo de soldadura con electrodo positivo proporciona un decapado de la superficie, que elimina el óxido en torno a la zona de soldadura.

**Métodos químicos:** La limpieza química se utiliza como último recurso reservado para aplicaciones de calidad. Sin embargo, inmediatamente antes de la soldadura podemos embeber un paño sin pelusa en un limpiador químico para ayudar a eliminar el óxido. En un principio se usaba acetona, pero con el tiempo su uso se fue desaconsejando por considerarse un producto inseguro para respirar, incluso por periodos cortos. En su lugar, se recomienda el uso de alcohol desnaturalizado o desengrasantes comerciales.

Tipos de limpieza		
Compuestos eliminados	Juntas solamente	Pieza completa
Aceite, grasa, humedad y polvo (usar cualquier método indicado)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar con solución alcalina suave y secar</li> <li>• Limpiar con disolvente de hidrocarburo, tal como acetona o alcohol</li> <li>• Limpiar con disolventes comerciales</li> <li>• Sumergir las juntas y usar cualquiera de los métodos anteriores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desengrasar por vapor</li> <li>• Desengrasar con aerosoles</li> <li>• Sumergir en disolventes alcalinos</li> <li>• Sumergir en disolventes comerciales</li> </ul>
Óxidos (usar cualquier método indicado)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sumergir las juntas en solución alcalina fuerte, luego en agua y luego en ácido nítrico. Enjuagar con agua y secar</li> <li>• Limpiar con desoxidantes comerciales</li> <li>• Eliminar mecánicamente, por ejemplo mediante cepillado de alambre, limado o amolado. En aplicaciones críticas, raspar todas las juntas y las superficies adyacentes inmediatamente antes de la soldadura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sumergir en solución alcalina fuerte, luego en agua y luego en ácido nítrico. Enjuagar con agua y secar</li> <li>• Sumergir en soluciones comerciales</li> </ul>

Figura 41. Métodos limpieza superficies aluminio [8]

#### 4.5 Fuentes de poder

El proceso se controla a través de la fuente de energía o fuente de poder. La fuente de poder más sencilla que puede utilizarse, consiste en un rectificador con un selector continuo de corriente, el flujo de gas se ajusta con una válvula en la antorcha y el arco es encendido al rasparse ligeramente electrodo o punta de antorcha contra una pieza o una placa de arranque. Esto no dará arranques o finales de soldaduras que tengan requerimientos de alta calidad.

Puede utilizarse cualquier grupo convencional, de corriente continua o de corriente alterna, de los que se emplean en la soldadura por arco, con electrodos revestidos. Sin embargo, es importante que permita un buen control de la corriente en el campo de las pequeñas intensidades. Esto es necesario



con vistas a conseguir una buena estabilidad del arco incluso a bajas intensidades lo que resulta especialmente interesante en la soldadura de espesores finos.

Cuando se utilice un grupo de corriente continua que no cumpla esta condición, es recomendable conectar una resistencia en el cable de masa, entre el generador y la pieza. Esta solución permite conseguir un arco estable, incluso a muy bajas intensidades.

En cuanto a las máquinas de corriente alterna (transformadores), deben equiparse con un generador de alta frecuencia. Respeto a este hay que recordar que en la soldadura de corriente alterna el sentido de circulación de la corriente está cambiando continuamente.

En cada inversión nos encontraremos con un pequeño período de tiempo en el que no circula corriente. Esto produce inestabilidades en el arco, e incluso puede provocar una extinción. Cuando se acopla un generador de alta frecuencia, circula una corriente más uniforme y se estabiliza el arco.

Tanto la resistencia (para generadores de corriente continua como el de alta frecuencia) para los transformadores pueden obtenerse fácilmente, en la mayoría de las casas suministradoras de material de soldadura. Válvulas y otros instrumentos de control para soldadura semiautomática o automática, también se suministran por separado. Estos dispositivos pueden acoplarse a los grupos para controlar la circulación del gas de protección y del agua de refrigeración.

También se encuentran generadores especialmente diseñados para soldadura TIG, equipados con todos estos accesorios. La mayor parte de estas máquinas pueden suministrar tanto corriente continua como alterna. La elección del tipo de generador más adecuado depende de las características del metal a soldar. Algunos metales se sueldan más fácilmente, con corriente alterna, mientras que otros, para conseguir buenos resultados, exigen el soldeo con corriente continua.



Figura 42. Fuente poder TIG [15]

Las fuentes de poder para aplicaciones industriales son bastante más sofisticadas y tienen numerosas posibilidades de control para un fácil manejo y mejora de la calidad. Suelen ser del tipo ambas corrientes y se pueden utilizar para soldar tanto con corriente alterna como corriente continua o directa.

#### 4.5.1 Selección del tipo de corriente

El proceso TIG puede utilizarse tanto corriente continua como corriente alterna. La elección de la clase de corriente y polaridad se hará en función del material a soldar.

- Arco con corriente continua.
- Arco con corriente alterna.



Figura 43. Selección DC/AC [12]



#### 4.5.2. Arco con corriente Continua

La polaridad recomendada en corriente continua es la directa, ya que si se suelda con polaridad inversa se tienen que utilizar intensidades tan bajas para que no se sobrecaliente el electrodo que resulta impracticable soldar.

#### 4.5.3. Arco con corriente Alterna

La corriente alterna tiene las ventajas de las dos polaridades: el buen comportamiento durante el semiciclo de polaridad directa y el efecto decapante del baño durante el semiciclo de polaridad inversa, por lo que suele emplearse en el soldeo de aleaciones ligeras, tales como las de aluminio y magnesio.

#### 4.5.4. Efecto del tipo de corriente

En la siguiente tabla se muestra a modo de resumen las diferencias entre utilizar corriente alterna o continua.


			
<i>Acción de limpieza de óxido</i>	No	Si	Si; Cada mitad del ciclo
<i>Balance de calor en el arco (aprox)</i>	70% en la pieza 30% en el electrodo	30% en la pieza 70% en el electrodo	50% en la pieza 50% en el electrodo
<i>Penetración</i>	Profunda; Angosta	Ligera; Ancha	Media
<i>Capacidad del electrodo</i>	Excelente 1/8" (3.2 mm) 400 A	Pobre 1/4" (6.4 mm) 120 A	Buena 1/8" (3.2 mm) 225 A

Figura 44 Efecto tipo corriente [7]

#### 4.5.5. Encendido del Arco eléctrico

Cuando se arranca siempre hay riesgo de salpicaduras o contaminaciones con tungsteno en la soldadura esto puede evitarse a través de una función: la llamada pendiente ascendente o positiva, que gradualmente incrementa la corriente hasta llegar al nivel fijado. Con el objetivo de olvidar porosidades

y fisuras en el cráter final de las soldaduras, hay una función de pendiente descendente o negativa que reduce gradualmente la corriente.

Un cráter de soldadura no es porosidad en la soldadura, sino más bien es un fenómeno natural que se encuentra en la soldadura por arco.



Figura 45. Cráter soldadura TIG [9]

Existen diversas formas de generar el arco, lo más común es utilizar un generador de alta frecuencia. Otro método es el conocido como levantamiento de arco, el electrodo es colocado contra la pieza, y el arco se enciende cuando nosotros levantamos el electrodo, esto hace mucho más fácil establecer el punto de arranque.

En el encendido del arco eléctrico podemos definir dos tipos de cebado principalmente, el cebado por raspado y por alta frecuencia (HF).

- *Cebado por raspado*: tipo de encendido del arco eléctrico que se efectúa raspando el electrodo de tungsteno con la pieza a soldar. Se asemeja al cebado con electrodo revestido. Este tipo de encendido deja impurezas en el material base y en el cordón de soldadura.

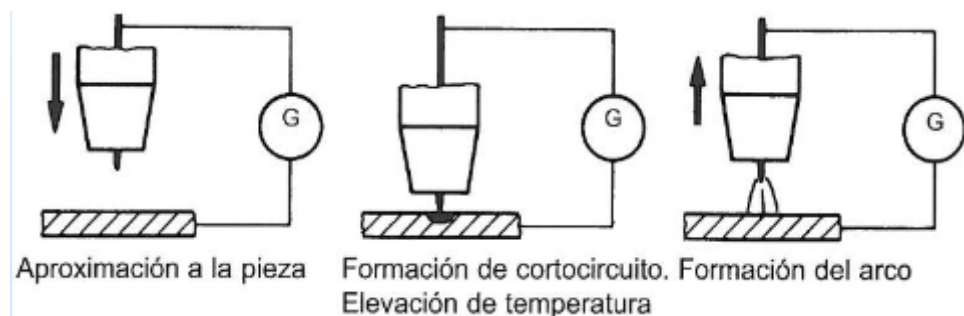


Figura 46. Cebado por raspado [7]

- *Cebado por alta frecuencia*: tipo de encendido del arco, en la que una chispa, suministrada por un generador de alta frecuencia, que suministra un impulso de alta tensión permite iniciar el arco eléctrico sin poner en contacto el electrodo con el material base. El cebado por HF requiere siempre una antorcha con mando eléctrico.

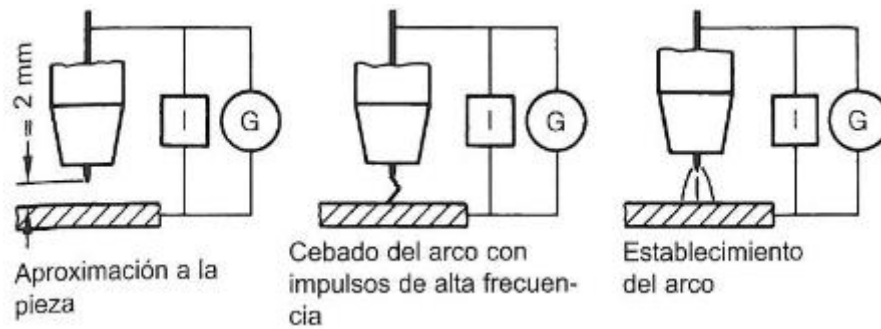


Figura 47. Cebado por alta frecuencia [7]

#### 4.5.5.1. Arco pulsado

Es una técnica especial cuya finalidad es obtener un mayor control sobre el aporte de calor al metal base y una mejor calidad de soldadura.

En la soldadura de materiales de pequeños espesores encierra toda una serie de inconvenientes, con el uso de *corriente pulsatoria* se puede obtener un mejor control de la pileta líquida o baño de fusión, se obtiene mejor deformación por el calor y una penetración perfecta.

\**Corriente pulsatoria*: corriente continua que sufre cambios regulares en la magnitud a partir de un valor constante. Los cambios pueden ser en intensidad o en tensión, estos pulsos son siempre en el mismo sentido de la corriente)

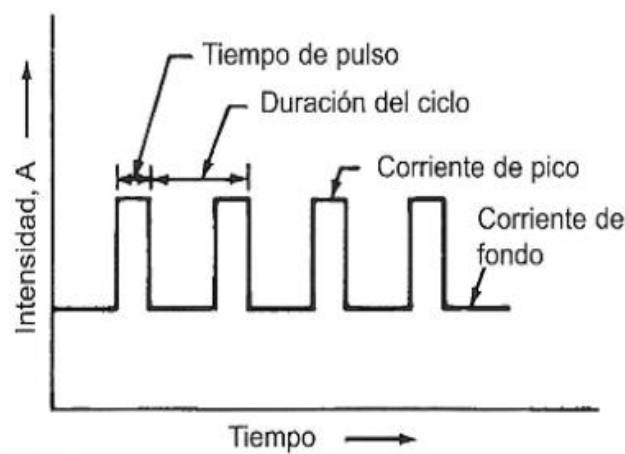


Figura 48. Arco pulsado [7]

Para el aluminio o aleaciones con aluminio la corriente alterna puede ser utilizada para romper la tenaz película de óxido.

La corriente alterna puede ser ajustada para obtener el balance deseado entre la eliminación del óxido y la penetración de la soldadura, un incremento en la eliminación de óxido provoca una reducción en la penetración de la soldadura y viceversa. [13]

#### 4.6 El soplete o antorcha

El electrodo de tungsteno está fijado al soplete o antorcha, esta también distribuye el gas protector alrededor del punto de soldadura.



Figura 49. Soplete o Antorcha [1]

El electrodo puede estar hecho tanto de tungsteno puro como de una aleación conteniendo sodio o circonio existiendo un gran rango de diámetros diferentes, y la elección del diámetro del electrodo depende del tipo e intensidad de la corriente. La punta del electrodo es también muy importante, contra mayor sea la intensidad de la corriente mayor será el ángulo de la punta requerido. Para corriente continua se utilizan electrodos terminados en punta con cierto ángulo.



Figura 50. Angulo requerido electrodo [4]

#### 4.7 Selección de la geometría de la punta del electrodo

El objetivo de esta sección es exclusivamente para la soldadura CC ya que en la soldadura CA la punta redondeada del tungsteno se forma sola producto del cambio de polaridad constante.

La soldadura a realizar debería seguir primero los procedimientos sugeridos por los proveedores de los equipos, generalmente estos ya han realizado muchos trabajos calificados y de localización de averías para optimizar la preparación del electrodo para sus propios equipos. Sin embargo, donde no existen estas especificaciones o el soldador o un ingeniero quisiera cambiar esos ajustes para mejorar y para optimizar posiblemente su soldadura, se les ofrece las siguientes pautas:

- A. *Diámetro del electrodo*: Las recomendaciones del equipo de los fabricantes de equipos de soldadura y las recomendaciones de la AWS son el mejor lugar a comenzar con esta variable.

Electrodos muy Afilados	Electrodos poco Afilados
Inicio de arco fácil	Generalmente mas difícil para iniciar el arco
Manejo de corrientes bajas	Manejo de corrientes altas
Arco mas amplio	Arco más estrecho
Buena estabilidad del arco	Potencia la pérdida de arco
Menos penetración	Mejor penetración
Menor vida útil	Mayor vida útil

Tabla 14. Electrodo afilados VS poco afilados [11]

- B. *Afilado del electrodo*: Generalmente entre 14 grados y 60 grados. La siguiente tabla compara cuales son las diferencias en los arcos según el afilado del electrodo:

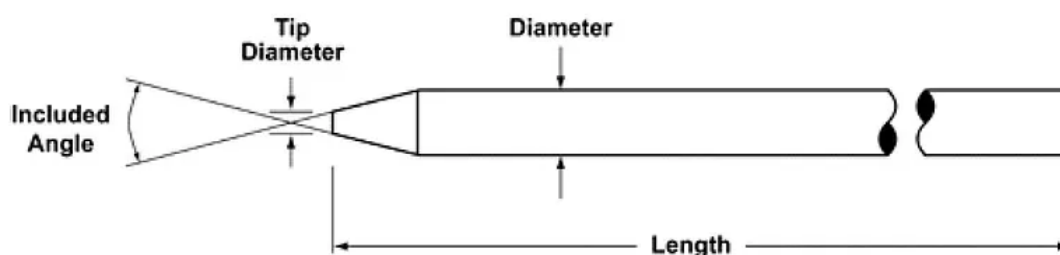
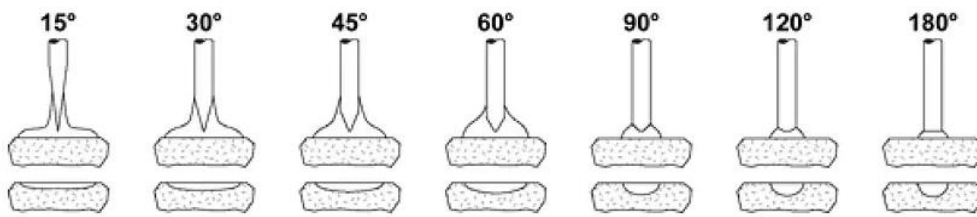


Figura 51. Afilado electrodo [8]

Además, para demostrar gráficamente cómo la selección del ángulo afectara el tamaño del arco de soldadura y la cantidad de penetración, el siguiente es un dibujo demuestra las representaciones típicas de la forma del arco y del perfil resultante de la soldadura para diversos ángulos:



**Figura 52. Tamaño arco soldadura** ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

C. El perfil de la zona de fusión dependerá también de:

- Tipo de afilado
- Distancia del arco
- El material a soldar
- El gas usado.

La elección de este material como electrodo para la soldadura TIG se debe a ser el metal de mayor punto de fusión  $3410^{\circ}$ , comparándolo con el hierro  $1536^{\circ}$ , el cobre  $1038^{\circ}$  o el aluminio  $660^{\circ}$ . Durante décadas los fabricantes de Tungstenos han alterado la composición de estos para obtener mejores resultados al utilizarlos en la soldadura TIG contaminándolos con distintos óxidos. Mediante estas aleaciones se obtuvieron mejoras en el encendido del arco, la estabilidad del arco y disminución de la erosión de la punta.

Si no se cuenta con una tabla u otro tipo de información ya sea del fabricante del equipo o del tungsteno solo se podrá basar en la experiencia del soldador. Pero si carece de esta aquí algunos puntos a tener en cuenta son los siguientes:

- Un electrodo de diámetro fino inicia el arco más fácilmente que uno grueso.
- Si el diámetro es demasiado grande para un amperaje determinado es probable que el arco se torne inestable.
- Si el diámetro es demasiado pequeño para un amperaje determinado es probable que la punta se erosione demasiado rápido.

Para corriente alterna, la punta del electrodo debe ser redondeada para obtener buenos resultados.

La antorcha está equipada con una boquilla reemplazable, su función era la de distribuir el gas alrededor del punto de soldadura. La elección de la boquilla depende del grosor o diámetro del electrodo requerido.

Una boquilla con laminador de gas que consiga una distribución del gas en forma laminar (no turbulenta) puede proveer en ciertos casos de una mejor protección gaseosa, el flujo laminar es más resistente a la posible corriente de aire en el punto de soldadura.



Figura 53. Flujo Laminar y turbulento [4]

Las altas temperaturas afectan a la antorcha, cuando se suelda con altas corrientes es necesario utilizar una antorcha refrigerada con agua, el cable también es refrigerado con agua.

El suministro de agua para el enfriamiento se utiliza cuando se sueldan espesores grandes mientras que para espesores pequeños se utiliza el enfriamiento por aire.

#### 4.8 Elección electrodo

Electrodo no consumible: en este caso, el electrodo se denomina no consumible ya que no debe aportar material al baño de fusión, su única finalidad es la de establecer el arco voltaico. Para que sea lo más resistente posible al desgaste, es necesario que sea de un material que tenga un punto de fusión situado en torno a los  $3410^{\circ}\text{C}$ . Un material resistente a altas temperaturas y muy utilizado es el tungsteno. Con el fin de mejorar las características del tungsteno y la resistencia al desgaste se pueden utilizar aleaciones como el zirconio, lantano y cerio entre otros. Cada aleación aportara diferentes propiedades.

Los electrodos se clasifican en función de su composición o de su aleación y se identifican con una gama de colores al respeto, existe normativa europea EN 26848.



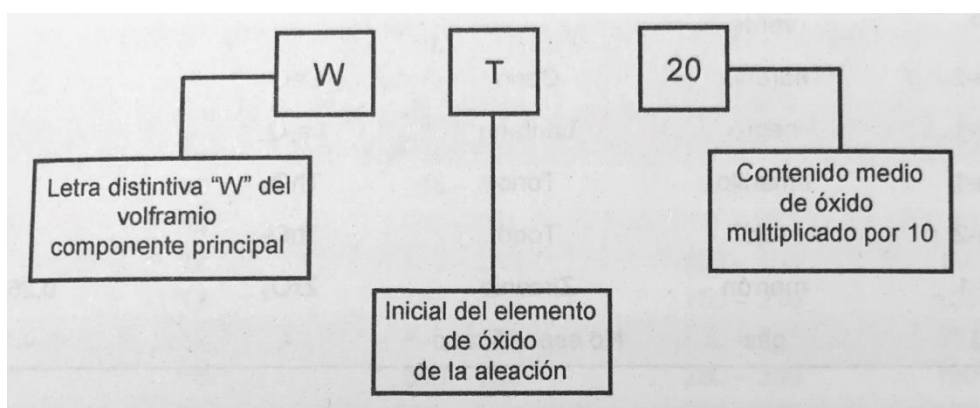


Figura 54. Simbolización electrodos [26]

Los electrodos vienen marcados e identificados según normativa Europea y según la Americana con distintos colores en función del óxido aleante y su porcentaje. El marcado debe estar en uno de los extremos del electrodo y debe ser visible con una longitud mínima de 3 milímetros.

Simbolización	Composición			Volframio % (m/m)	Color de identificación
	Óxido adicionado Naturaleza	% (m/m)	Impurezas % (m/m)		
WP		--	≤ 0,20	99,8	verde
WT4	ThO <sub>2</sub>	0,35 a 0,55	≤ 0,20	resto	azul
WT10	ThO <sub>2</sub>	0,80 a 1,20	≤ 0,20	resto	amarillo
WT20	ThO <sub>2</sub>	1,70 a 2,20	≤ 0,20	resto	rojo
WT30	ThO <sub>2</sub>	2,80 a 3,20	≤ 0,20	resto	violeta
WT40	ThO <sub>2</sub>	3,8 a 4,20	≤ 0,20	resto	naranja
WZ3	ZrO <sub>2</sub>	0,15 a 0,50	≤ 0,20	resto	marrón
WZ8	ZrO <sub>2</sub>	0,70 a 0,90	≤ 0,20	resto	blanco
WL10	CeO <sub>2</sub>	0,90 a 1,20	≤ 0,20	resto	negro
WC20	CeO <sub>2</sub>	1,80 a 2,20	≤ 0,20	resto	gris

Tabla 15. Normativa Europea simbolización, composición y color identificación [26]



Clasificación AWS	Color	Elementos aleantes	Óxidos aleantes	Porcentaje de óxido aleante
EWP	verde	-	-	-
EWCe-2	naranja	Cerio	CeO <sub>2</sub>	2
EWLa-1	negro	Lantano	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1
EWTh-1	amarillo	Torio	ThO <sub>2</sub>	1
EWTh-2	rojo	Torio	ThO <sub>2</sub>	2
EWZr-1	marrón	Zirconio	ZrO <sub>2</sub>	0,25
EWG	gris	No especificado	-	-

**Tabla 16. Normativa Americana simbolización, composición y color identificación [26]**

#### 4.9 Diámetros y capacidad de corriente

La corriente que pasa por el electrodo y dado que este debe ser no consumible, deberá tener un diámetro acorde para resistir dichas condiciones. Un exceso de corriente originara un exceso de temperatura en el electrodo y consecuentemente caerían gotas en el baño de fusión, por el contrario, una intensidad de corriente demasiado baja generaría un arco inestable.

La siguiente tabla nos relaciona diámetros con rango de amperajes tanto en corriente continua como en alterna:

Ø Electrodo mm	Ø Tobera mm	Corriente Continua	Corriente Alterna	
		Polaridad negativa (-)	Sin balance (*)	Con balance (*)
1	10	15 – 80	10 – 60	20 – 30
1,6	10	70 – 150	50 – 100	30 – 80
2,4	12	150 – 250	100 – 160	60 – 130
3,2	12	250 – 400	150 – 210	100 – 180
4	12	400 – 500	200 – 275	160 – 240
4,8	16	500 – 750	250 – 350	190 – 300
4,8	19	750 – 1100	325 – 450	325 – 450

**Tabla 17. Diámetro de electrodos [26]**

#### 4.10 Contaminación de los electrodos

Los electrodos pueden contaminarse por diversas causas provocando contaminación en el baño de fusión y por tanto obteniendo soldaduras defectuosas. En la tabla siguiente se indican algunas de las causas y posibles soluciones ante la contaminación.

Tipo de contaminación	Causas de la contaminación	Posibles soluciones
Por el amolado del electrodo	La muela se ha empleado en aplicaciones diversas y contamina el electrodo	Emplear una muela exclusivamente para los electrodos de tungsteno
Por metal base, baño de fusión o material de aporte	Contacto en el arranque con el metal base, o contacto durante el soldeo con el baño de fusión o la varilla de aportación	Utilizar la técnica adecuada para evitar contactos y equipo dotado de H.F. o Lift Arc
Por el aire	Electrodo de tungsteno excesivamente fuera de la boquilla	Emplear la tobera adecuada o la longitud de salida adecuadas
	Caudal de gas de protección insuficiente	Utilizar el caudal adecuado
	Caudal de gas excesivo, posibles turbulencias	Utilizar el caudal adecuado
Por agua	Falta de purga al cambio de botella	Purgar cada cambio de botella
	Fugas en el circuito de refrigeración	Eliminar las fugas
	Condensación de agua en el tubo de gas	Emplear tubería de teflón

Tabla 18. Causas contaminación [26]

#### 4.11 Selección de las varillas en función de los materiales a soldar

En función del material a soldar o material base seleccionaremos la varilla más adecuada, será la que tenga mismas propiedades o muy parecidas, de tal forma que se mantengan las propiedades de dichos materiales y la unión cumpla con sus requisitos.

Las siguientes tablas nos relacionan según los materiales base más comunes los consumibles de aportación que deberíamos usar según normativa europea EN y americana AWS:

Metal base	Consumibles de aportación según:	
	AWS	EN
No aleados	A5.18 ER70S-6	440-G3Si 1
Grano fino y tenaces	A5.28 ER80S-Ni1	440-G3Ni 1
	A5.28 ER80S-Ni 2	440-G2Ni 2
	A5.28 ER70S-G	12070-GMoSi
Débilmente aleados resistentes a la termo-fluencia	A5.28 ER80S-B2	12070-GCrMo1Si
	A5.28 ER90S-B3	12070-GCrMo2Si
	A5.28 ER80S-B6	12070-GCrMo5Si
	A5.28 ER80S-B8	12070-GCrMo9Si
	A5.28 ER90S-B9	12070-GCrMo91
Débilmente aleados de alta resistencia	A5.28 ER90S-G	12534-GMn3NiCrMo
	A5.28 ER110S-G	12534-GMn3Ni1CrMo
Resistente a la intemperie	A5.28 ER80S-W	12534-GMn3Ni1Cu

Tabla 19. Aceros al carbono y débilmente aleados [26]

Metal base	Consumibles de aportación según:	
	AWS	EN
Inoxidables martensíticos y ferríticos	A5.9 ER410	12072-G13
	A5.9 ER410NiMo	12072-G13 4
	A5.9 ER430	12072-G17
Inoxidables austeníticos standard	A5.9 ER308L	12072-G 19 9 L
	A5.9 ER347	12072-G 19 9 Nb
	A5.9 ER316L	12072-G 19 12 3 L
	A5.9 ER318	12072-G 19 12 3 Nb

Tabla 20. Aceros inoxidables y resistencia al calor [26]

Metal base	Consumibles de aportación según:	
	AWS	EN
Inoxidables superausteníticos	A5.9 ER317L	12072-G 19 13 4 L
	A5.9 ER385	12072-G 20 25 5 Cu L
Inoxidables austenoferríticos	A5.9 ER2209	12072-G 22 9 3 NL
	A5.9 ER2553	12072-G 25 9 3 Cu
Inoxidables resistentes al calor	A5.9 ER16.8.2	12072-G 16 8 2
	A5.9 ER308H	12072-G 19 9 H
	A5.9 ER316H	12072-G 19 12 3 H
	A5.9 ER310	12072-G 25 20

Tabla 21. Aceros inoxidables y resistencia al calor 2 [26]



Metal base (Aleación)	Consumibles de aportación según: AWS Varillas y alambres
200	ERNi-1
400	ERNiCu-7
600	ERNiCr-3
601	ERNiCrFe-11
617	ERNiCrCoMo-1
625	ERNiMo-3
800	ERNiMo-3
800H / HT	ERNiCrCoMo-1
825	ERNiFeCr-1
20	ERNiFeCr-1
C276	ERNiCrMo-4
C-4	ERNiCrMo-13
B-2	ERNiMo-7
G	ERNiCrMo-1

Tabla 22. Níquel y sus aleaciones [26]

Metal base	Consumibles de aportación según AWS Varillas y alambres
Cobre	ERCu
Bronce silicio	ERCuSi-A
Bronce Fosforoso	ERCuSn-A
Cupro-níquel	ERCuNi
Bronces al Al	ERCuAl-A1/A2/A3
Bronces al Ni-Al	ERCuNiAl
Bronces al Mn-Ni-Al	ERCuMnNiAl

Tabla 23. Cobre y sus aleaciones [26]

Metal base	Consumibles según AWS
<b>Titanio puro comercial</b>	
ASTM Grado 1	ERTi-1
ASTM Grado 2	ERTi-2
ASTM Grado 3	ERTi-3
ASTM Grado 4	ERTi-4
<b>Aleaciones de titanio</b>	
Ti-0.2Pd	ERTi-7
Ti-3Al-2.5V	ERTi-9
Ti-3Al-2.5V ELI	ERTi-9 ELI
Ti-5Al-2.5Sn	ERTi-6
Ti-5Al-2.5Sn ELI	ERTi-6 ELI
Ti-6Al-2Nb-1Ta-1Mo	ERTi-15
Ti-6Al-4V	ERTi-5
Ti-6Al-4V ELI	ERTi-5 ELI
Ti-8Al-1Mo-1V	No hay especificación AWS
Ti-13V-11Cr-3Al	No hay especificación AWS
Ti-5Al-6Sn-2Zr-0.8Mo-0.25Si	No hay especificación AWS
Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo	No hay especificación AWS

Tabla 24. Titanio y sus aleaciones [26]

CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES ALEACIONES	
Grado	Al + elementos de mayor aleación
1XXX	Al puro >99,0%: buena resistencia a la corrosión, baja dureza.
2XXX	Aleación con Cu (Dural), endurecible: mala soldabilidad.
3XXX	Aleación al Mn, endurece contrabajo: Construcción de vehículos.
4XXX	Aleación al Si, los fundidos se sueldan peor que los forjados.
5XXX	Aleación al Mg, resistencia al clorhídrico: empleado en marina y automoción.
6XXX	Aleación Mg+Si, endurecible: arquitectura, puentes, etc.
7XXX	Aleación al Zn, endurecible: alta resistencia.
8XXX	Ni, Li, etc.: aeroespacial.

Tabla 25. Aluminio y sus aleaciones 1 [26]

RECOMENDACIONES DE LOS METALES DE APORTE, ERXXXX					
Metal Base	Alta resistencia	Buena ductibilidad	Para anodizar	Corrosión agua de mar	Resistente a grietas
1100	4043	1100, 1050	1100, 1050	1100, 1050	4043
2219	2319	2319	2319	2319	2319
3003/3103	4043	1100, 1050	1100, 1050	1100, 1050	4043
5052	5356	5356	5356	5554, 5154	5356
5083(N8)	5556	5356	5356	5183, 5556	5356, 5556
5154, 5251(N4)	5356	5356	5356	5154	5356
5086	5356	5356	5356	5356	5356
5454(N51)	5356	5554	5554	5554	5356
5456	5556	5356	5556	5356	5356
6061(H20)	5356	5356	5654	4043	4043
6063(H9)	5356	5356	5356	4043	4043
6082(H30)	5356	5356	5356	4043	4043
7005	5556	5356	5356	5356	5356
7039	5556	5356	5356	5356	5356

Tabla 26. Recomendaciones metales de aporte ERXXXX [26]



Metal base	Metal de aporte "AWS"
AZ10A	ER AZ61A / ER AZ92A
AZ31B	ER AZ61A / ER AZ92A
AZ61A	ER AZ61A / ER AZ92A
AZ80A	ER AZ61A / ER AZ92A
ZK21A	ER AZ61A / ER AZ92A
HK31A	ER EZ33A
HM21A	ER EZ33A
HM31A	ER EZ33A
M1A	M1A
<b>Fundidos</b>	
AM100A	ER AZ92A / ER AZ101A / AM100A
AZ63A	ER AZ92A / ER AZ101A / AZ63A
AZ81A	ER AZ92A / ER AZ101A / AZ81A
AZ91C	ER AZ92A / ER AZ101A / AZ91C
AZ92A	ER AZ92A / ER AZ101A / AZ92A
EK41A	ER EZ33A / EK41A
EZ33A	ER EZ33A / EZ33A
HK31A	ER EZ33A / HK31A
HZ32A	ER EZ33A / HZ32A

Tabla 27. Magnesio y sus aleaciones [26]

Metal base	Metal de aporte "AWS"
ASRM Grado	
R60702	ERZr2
R60704	ERZr3
R60705	ERZr4
R60706	ERZr4

Tabla 28. Zirconio y sus aleaciones [26]

#### 4.12 Defectos típicos de la soldadura TIG

El defecto típico de este método de soldeo, y no reportable a otras tecnologías u otros tipos de soldadura, son las inclusiones de tungsteno. El arco debe golpear siempre entre el electrodo y el baño, pero puede ocurrir que, por cualquier motivo, el electrodo entre en contacto con el baño.

En este caso el electrodo puede fragmentarse, soltando astillas en el baño ( $\varnothing < 1 \text{ mm}$ ), estas astillas suelen tener una forma prismática, con bordes fuertemente angulados. Esto significa que son desencadenantes de fracturas frágiles en la estructura del material soldado. Se requiere un entrenamiento cuidadoso del soldador para evitar estos defectos.

Un defecto relativamente frecuente en las soldaduras TIG es la falta de protección, que puede ser tanto recta como inversa. La falta de protección se manifiesta como escamas, es decir, con manchas circulares oxidadas en el material. Estos defectos pueden evitarse mediante pruebas apropiadas antes de soldar.

Otros defectos que se pueden encontrar en estas soldaduras son la porosidad, la falta de fusión o grietas, estos defectos deben evitarse mediante la realización de pruebas de calificación precisas del proceso.

#### 4.13 Ventajas método TIG

La gran ventaja de la soldadura TIG es básicamente la obtención de cordones más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que en el resto de procedimientos, ya que el gas protector impide el contacto entre el oxígeno de la atmosfera y el baño de fusión tal y como se ha explicado anteriormente. Además, dicho gas simplifica el soldeo de metales ferrosos y no ferrosos por no requerir el empleo de desoxidantes.

Otra ventaja de este procedimiento de soldeo es que permite obtener soldaduras limpias y uniformes debido a la escasez de humos y proyecciones; la movilidad del gas que rodea al arco transparente permite al soldador ver claramente lo que está haciendo en todo momento, lo que repercute favorablemente en la calidad de la soldadura. El cordón obtenido es por tanto de un buen acabado superficial, que puede mejorarse con sencillas operaciones de acabado, lo que incide favorablemente en los costes de producción. Además, la deformación que se produce en las inmediaciones del cordón de soldadura es menor.

Otras ventajas:

- No se requiere de fundente y no hay necesidad de limpieza posterior en la soldadura.
- No hay salpicadura, chispas ni emanaciones, al no circular metal de aporte a través del arco.
- Brinda soldaduras de alta calidad en todas las posiciones, sin distorsión.
- Al igual que todos los sistemas de soldadura con protección gaseosa, el área de soldadura es claramente visible.
- El sistema puede ser automatizado, controlando mecánicamente la pistola y/o el metal de aporte.
- Adecuada para soldaduras de responsabilidad (pase de raíz).



- El proceso puede ser mecanizado o robotizado.
- Facilita la soldadura en lugares de difícil acceso.
- Ofrece alta calidad y precisión.
- Óptimas resistencias mecánicas de la articulación soldada.
- Poca generación de humo.
- Soldaduras claras, brillantes y con óptimo acabado, sin usar flujo de limpieza, prescindiendo de acabado final y reduciendo costos de fabricación.
- Soldadura en todas las posiciones.
- Versatilidad - suelda prácticamente todos los metales industrialmente utilizados.

#### **4.14 Desventajas método TIG**

Como inconvenientes está la necesidad de proporcionar un flujo continuo de gas, con la subsiguiente instalación de tuberías, bombonas, etc., y el encarecimiento que supone. El requerimiento de mano de obra muy especializada, lo que también aumenta los costes. Por tanto, no es uno de los métodos más utilizados, sino que se reserva para uniones con necesidades especiales de acabado superficial y precisión.

## Capítulo 5. Proceso de soldadura con electrodo revestido SMAW (Shield Metal Arc Welding)

Se trata de un proceso de soldadura con infinitud de aplicaciones, muy utilizado en la gran mayoría de talleres, y sobre todo muy utilizado en el sector naval.

Las siglas SMAW vienes del inglés Shield Metal Arc Welding. En castellano se le llama soldadura con electrodo revestido. Es un proceso muy versátil, con muchas aplicaciones y además de costos bastante reducidos en comparación con otros procesos de soldadura. [21]

### 5.1 Principios del proceso

El proceso de soldeo con electrodo revestido, como su nombre indica se utiliza como material de aportación un electrodo revestido. La fusión del metal la conseguimos gracias al calor que se genera mediante un arco eléctrico. El arco eléctrico se produce entre el extremo del electrodo y el material base del elemento a soldar. [19]

El material de aportación necesario en este proceso de soldadura se obtiene fundiendo el electrodo y la protección la encontramos en el recubrimiento del electrodo. El recubrimiento del electrodo va fundiendo y descomponiéndose en forma de gases y escoria líquida, que posteriormente se solidifica.

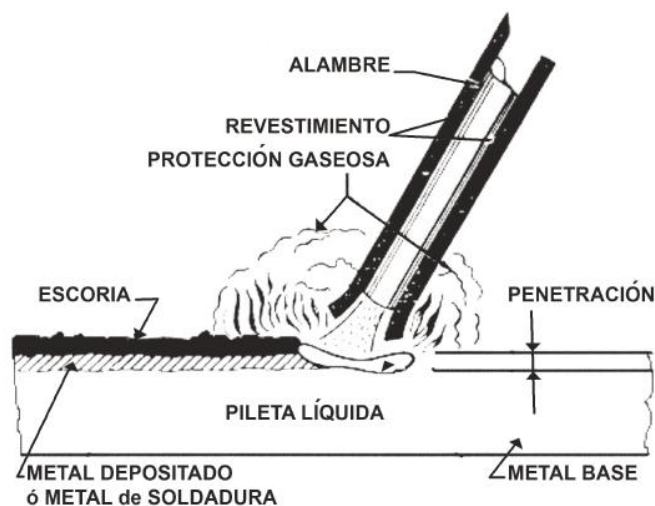


Figura 55. Soldadura electrodo revestido [7]

El arco que se genera, puede llegar a alcanzar temperaturas de aproximadamente 3500 °C en la punta del electrodo, lo que es una temperatura suficiente como para fundir la mayoría de los metales. [2]

A continuación, veremos en la imagen el equipo necesario para poder realizar una soldadura con electrodo revestido.

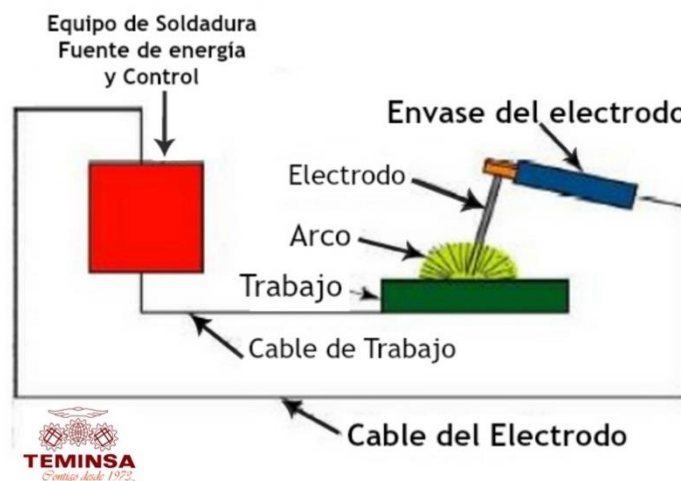


Figura 56. Equipo soldadura SMAW [19]

La fuente de energía es el elemento que nos permite realizar el arco eléctrico. Podemos hacerlo tanto con corriente continua como con corriente alterna. La elección de uno u otro dependerá del tipo de fuente de corriente disponible, del electrodo que vamos a utilizar y del material base.



Figura 57. Fuente de energía y equipo soldadura [19]

El otro elemento imprescindible para conseguir el arco y que da nombre a este proceso de soldadura es el electrodo. Como veremos más adelante, existen muchos tipos de electrodos y cada uno tiene sus aplicaciones.

Veremos a continuación una tabla comparando las diferentes ventajas o aplicaciones de la corriente continua y la corriente alterna.

Parámetros	Corriente continua	Corriente alterna
Soldeo a gran distancia de la fuente de corriente.		Preferible
Soldeo con electrodos de pequeño diámetro que requieren bajas intensidades de soldeo.	La operación resulta más fácil.	Precaución. El material se puede deteriorar debido a la dificultad de encendido del arco.
Cebado del arco.	Resulta más fácil.	Más difícil, en especial si se emplean electrodos de pequeño diámetro.
Mantenimiento del arco.	Más fácil por la mayor estabilidad.	Más difícil, excepto cuando se emplean electrodos de gran rendimiento.
Soplo magnético.	Puede ser un problema en el soldeo de materiales ferromagnéticos.	No se presentan problemas.
Posiciones de soldeo.	Se prefiere en el soldeo en posiciones vertical y bajo techo, porque deben utilizarse intensidades bajas.	Si se utilizan los electrodos adecuados se pueden realizar soldaduras en cualquier posición.
Tipo de electrodo	Se puede emplear con cualquier tipo de electrodo.	El revestimiento del electrodo debe contener sustancias que restablezcan el arco.
Espesor de la pieza.	Se prefiere para espesores delgados.	Se prefiere con espesores gruesos. Se obtiene mayor rendimiento.
Salpicaduras.	Poco frecuentes.	Más frecuentes.
Soldeo utilizando longitudes de arco pequeñas (importante en algún tipo de electrodos, sobre todo los de tipo básico).	El soldeo resulta más fácil.	
Polaridad.	Posibilidad de elección de la polaridad en función del metal a soldar y del electrodo a emplear.	No hay polaridades.

**Tabla 29. Corriente alterna y corriente continua [17]**

Los demás elementos necesarios para la soldadura mediante electrodo revestido a parte de la fuente de energía y los electrodos, son la pinza portaelectrodos, la conexión a masa los cables de soldeo.

Es importante que la fuente de energía mantenga una intensidad constante, para evitar que la soldadura se vea afectada por variaciones en la longitud del arco.

## 5.2 Electrodo revestido

Este es uno de los elementos más importantes y el que da el nombre a este tipo de proceso de soldadura.

El electrodo cumple con varias funciones dentro del proceso de soldeo, es el encargado de establecer el arco, proteger el baño de fusión y al irse consumiendo es el que produce la aportación de material, y a medida que el material base va fundiendo, junto con la aportación de material va constituyendo el cordón de soldadura.

En la siguiente imagen podemos ver los diferentes elementos que forman el electrodo:

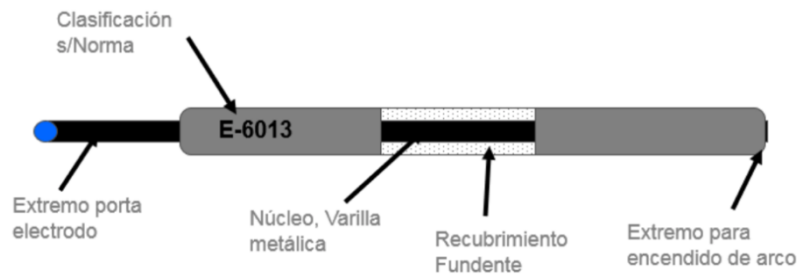


Figura 58. Elementos electrodo [19]

El núcleo o alma, es un alambre de sección circular y es el material de aportación. Su composición variara y utilizaremos uno u otro en función del material base de la pieza a soldar.

El revestimiento envuelva al alma o núcleo, también de sección circular y está formado por diversos compuestos químicos, que caracterizaran cada tipo de electrodo. El revestimiento tiene varias funciones:

- Dirigir el arco eléctrico.
- Proteger el metal fundido evitando la oxidación (entrada de oxígeno y del nitrógeno del aire), esto lo consigue produciendo unos gases que envuelven el arco y generando una escoria que cubre el metal fundido.

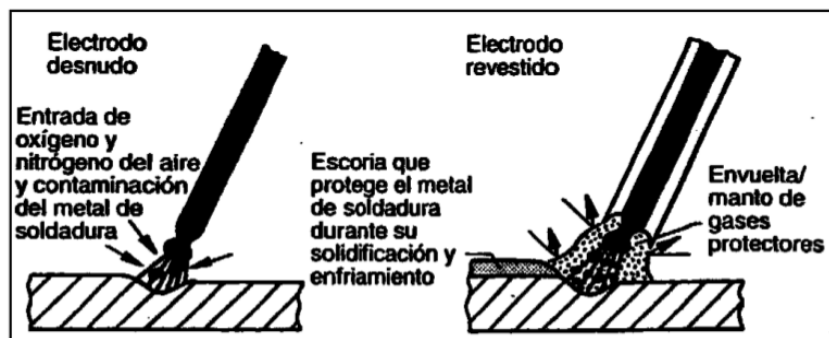


Figura 59. Protección oxidación [19]

Todos los electrodos tienen las longitudes normalizadas, siendo estas 150, 200, 250, 300, 350 y 400 mm. La longitud varía en función del diámetro del electrodo. Hay una parte del electrodo, en la que el alma queda a la vista, es decir no tiene revestimiento, esto es así, para poder colocar la pinza porta electrodos. Los diámetros de los electrodos también están normalizados, 1.6, 2, 2.5, 3.2, 4, 5 y 6 siendo los más habituales.

Existe otra clasificación de electrodos atendiendo al espesor del revestimiento del mismo:

- *Delgados*: aportan poca protección al metal fundido, por lo que se suelen utilizar con finalidad didáctica, para el aprendizaje de la técnica de soldeo.
- *Medios*: con estos se obtiene un arco bastante estable, lo que permite un soldeo con corriente alterna y protegen el metal soldado.
- *Gruesos*: los electrodos con revestimiento grueso permiten obtener mejores cualidades.

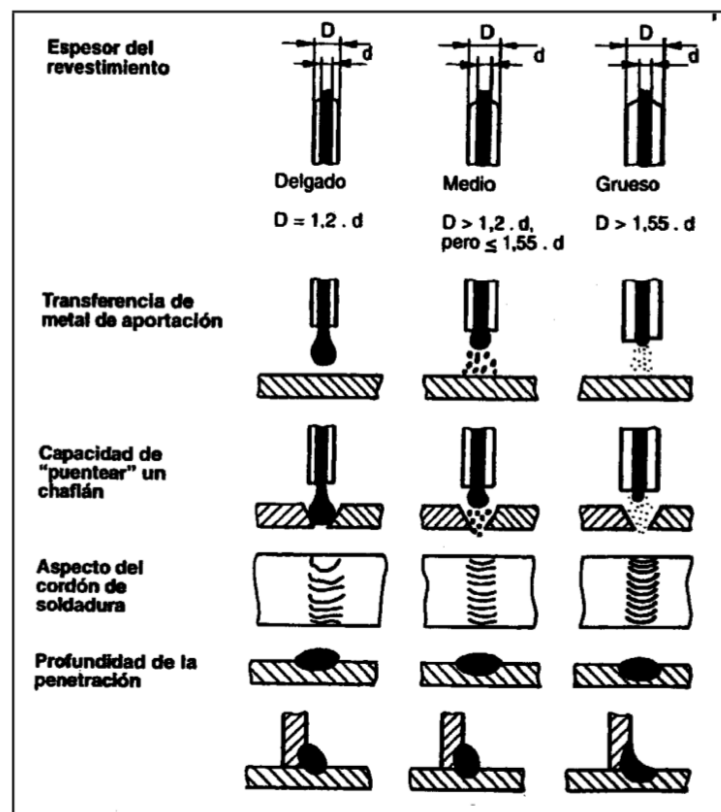


Figura 60. Clasificación electrodos [19]

### 5.3 Tipos de revestimiento de los electrodos

Existe una clasificación para los revestimientos de los electrodos, y la composición de los mismos es la que determinara sus cualidades y aplicaciones. Según la norma EN-ISO 499 tenemos:

- Ácidos (A)
- Básico (B)
- Celulósico (C)
- Rutilo (R)
- Rutilo-Acido (RA)
- Rutilo-Básico (RB)
- Rutilo-Celulósico (RC)
- Rutilo grueso (RR)

En las siguientes tablas veremos las aplicaciones de los electrodos según sus composiciones y características:

### Electrodos ácidos (A)

<b>Composición del revestimiento:</b>	Óxidos de hierro y manganeso.
<b>Características de la escoria:</b>	Bastante fluida, de aspecto poroso y abundante.
<b>Ventajas:</b>	Velocidad de fusión y penetración bastante elevadas. Se puede utilizar con intensidades elevadas.
<b>Limitaciones:</b>	Sólo se puede utilizar con metales base con buena soldabilidad, contenidos muy bajos de azufre, fósforo y carbono, de lo contrario presenta fisuración en caliente,.
<b>Posición:</b>	Especialmente indicados para posición plana, pero también pueden utilizarse en otras posiciones.
<b>Tipo de corriente:</b>	c.c. y c.a.

Tabla 30. Electrodos Ácidos [21]

### Electrodos básicos (B)

<b>Composición del revestimiento:</b>	Carbonato cálcico y otros carbonatos también básicos.
<b>Características de la escoria:</b>	Densa, no muy abundante, de color pardo oscuro y brillante, se separa fácilmente y asciende con facilidad por lo que se reduce el riesgo de inclusiones de escoria.
<b>Ventajas:</b>	Metal de soldadura muy resistente a la fisuración en caliente. Metal depositado de bajo contenido en hidrógeno lo que reduce el riesgo de fisuración en frío.
<b>Limitaciones:</b>	Su manejo es algo difícil, debiéndose emplear con un arco muy corto y con intensidades poco altas.

<b>Aplicaciones:</b>	Son muy higroscópicos (absorben humedad con facilidad) por lo que es necesario mantenerlos en paquetes herméticamente cerrados y conservarlos en recintos adecuados que los mantengan perfectamente secos. A veces se deben secar en estufas adecuadas justo antes de su empleo, extremando las precauciones cuando vayan a ser utilizados en soldaduras de aceros con problemas de temple.
<b>Posición:</b>	Soldaduras de responsabilidad. Su gran tenacidad los hace recomendables para soldar grandes espesores y estructuras muy rígidas. Aceros débilmente aleados e incluso aceros que presentan baja soldabilidad.
<b>Tipo de corriente:</b>	Todas posiciones. Corriente continua y polaridad inversa, aunque hay algún tipo de electrodo preparado para ser empleado también con corriente alterna.

Tabla 31. Electrodos Básicos [21]



### Electrodos celulósicos (C)

<b>Composición del recubrimiento:</b>	Sustancias orgánicas que generan gran cantidad de gases por el calor.
<b>Características de la escoria:</b>	Escasa y se separa con gran facilidad.
<b>Ventajas:</b>	Los gases forman una gran envoltura gaseosa en torno al arco, e imprimen a las gotas metálicas gran velocidad, por lo cual se consigue gran penetración. Gran velocidad de fusión.
<b>Limitaciones:</b>	Muchas proyecciones. Superficie de la soldadura muy irregular.
<b>Posición:</b>	Todas.
<b>Aplicaciones:</b>	Se emplea principalmente para el soldeo de tuberías en vertical descendente, por la buena penetración que consiguen y por la rapidez del trabajo, debida a su alta velocidad de fusión.
<b>Tipo de corriente:</b>	Corriente continua y polaridad directa. Para utilizarlos con corriente alterna se necesita emplear una máquina con tensión en vacío elevada.

**Tabla 32. Celulósicos [21]**

### Electrodos rutilo (R)

<b>Composición del revestimiento:</b>	Rutilo (óxido de titanio $TiO_2$ ).
<b>Características de la escoria:</b>	Muy densa y viscosa.
<b>Ventajas:</b>	Fácil cebado y manejo del arco. Fusión del electrodo suave. Cordón de soldadura muy regular y de buen aspecto.
<b>Posición:</b>	Todas. Especialmente indicados para soldar en posición vertical y bajo techo gracias a las características de su escoria.
<b>Aplicaciones:</b>	Es el electrodo más comúnmente utilizado.
<b>Tipo de corriente:</b>	c.c. y c.a.

**Tabla 33. Rutilo [21]**

Existen también electrodos con polvo de hierro en el revestimiento. Se pueden introducir polvos de distintos metales en los revestimientos. Esto se hace para compensar la pérdida de elementos de aleación producida durante la fusión del electrodo o bien para aportar nuevos elementos a la aleación mejorando las propiedades del metal.

Agregando polvo de hierro en el revestimiento conseguimos un arco más estable, facilitamos el soldeo, ya que al arrastrar el electrodo se consigue mantener el arco eléctrico constante, y aumentamos la cantidad de metal depositado en la soldadura. Al depositar una mayor cantidad de material nos permite aumentar la velocidad del soldeo.



#### **5.4 Consideraciones de los electrodos: conservación y manipulación**

Hay que tener en cuenta que el revestimiento de los electrodos es un elemento frágil, se puede desprender con gran facilidad si no se manipula con cierto cuidado.

Si el revestimiento se ve afectado, el desprendimiento del mismo no será el idóneo y la fusión no será óptima, dando como resultado una mala soldadura.

A la hora de transportar electrodos, es importante llevarse consigo el número más exacto posible de electrodos, evitando dañar electrodos que no se van a utilizar.

La manipulación de los electrodos debe de realizarse con guantes secos y limpios. Los electrodos absorben humedad, y un electrodo húmedo no servirá. Por ello vienen empaquetados, una vez abierto el paquete, es importante mantenerlos alejados de lugares húmedos, y si han sido expuestos a humedad, deberán secarse. La temperatura y tiempo de secado dependerá de cada fabricante.

#### **5.5 Parámetros de soldeo**

En general, a mayor diámetro de electrodo, más intensidad soportara y mayor penetración en el material tendremos. Debemos elegir aquel electrodo cuyo diámetro asegure los requisitos de aporte térmico y pueda utilizarse de forma relativamente sencilla en función del espesor, posición y tipo de unión que vamos a realizar.

A grandes rasgos, los electrodos de mayor diámetro se seleccionan para la soldadura de materiales de gran espesor y soldaduras en posiciones planas.

Para soldeo en posición cornisa, vertical y bajo techo utilizaremos electrodos de menor diámetro, ya que el baño de fusión tiende a caer y dificulta mantener el baño en su sitio.

En trabajos de soldadura con pasadas múltiples también lo realizaremos con electrodos de diámetro reducido.

El aporte térmico depende directamente de la intensidad, tensión del arco y velocidad de avance, todo ello parámetros que dependen del diámetro del electrodo.

A modo de resumen, podemos decir:

Utilizaremos electrodos de poco diámetro para punteado, uniones de poco espesor, primeras pasadas, soldadura en posiciones verticales, bajo techo y cornisa. Para piezas de grandes espesores y posición plana, utilizaremos electrodos de mayor diámetro.

En cuanto a intensidades de soldeo, como regla general, a mayor diámetro de electrodo, mayores intensidades podemos utilizar. La intensidad dependerá a su vez de la posición y del tipo de unión que vamos a realizar. En la práctica, cada soldador ajusta la intensidad según su experiencia.

Existen niveles de intensidad segun posiciones de soldeo, como veremos en la siguiente tabla:

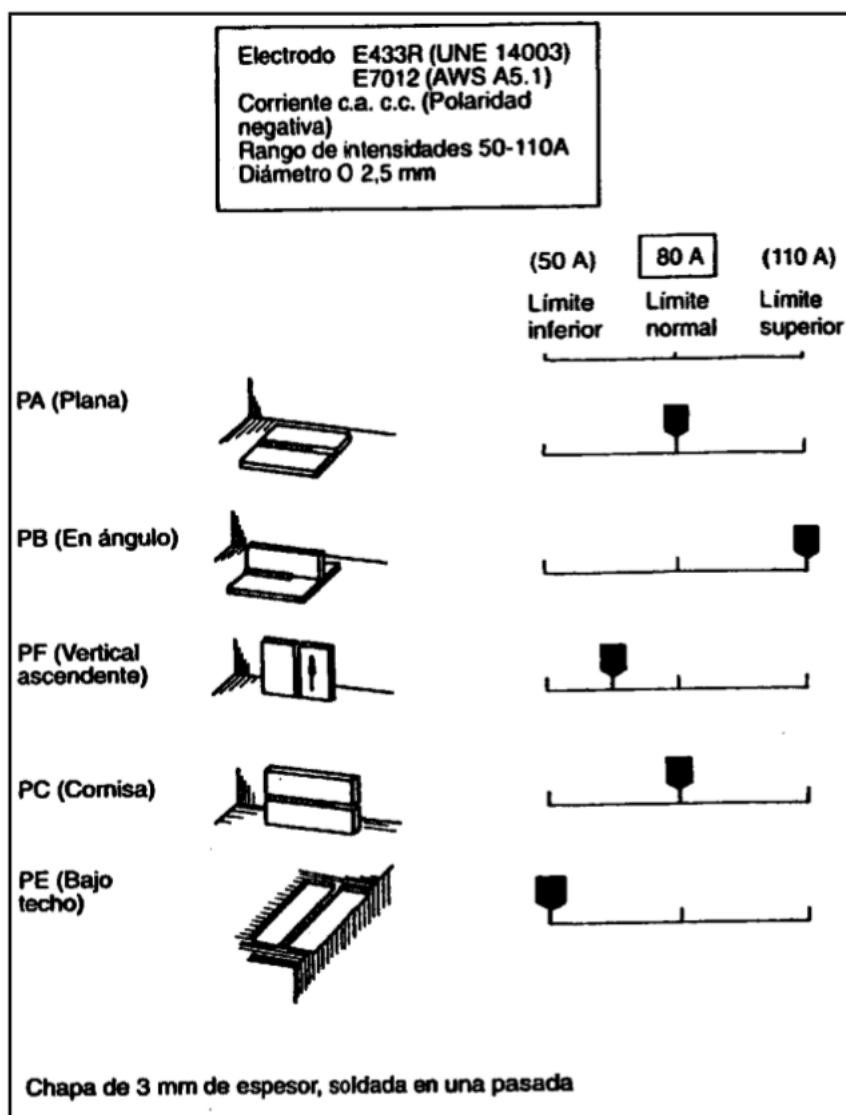


Tabla 34. Intensidades soldeo según posición. [25]

La longitud del arco, también depende del electrodo. Como norma general, la longitud del arco debe ser igual al diámetro del electrodo. La longitud de arco deberá mantenerse a lo largo de todo el proceso de soldeo para mantener una penetración constante.

Un arco demasiado corto puede provocar cortocircuitos y un arco demasiado elevado perderá direccionalidad e intensidad.

En cuanto a la orientación del electrodo, en la siguiente tabla veremos las orientaciones típicas y técnicas de soldeo con electrodos para acero al carbono, que variarían para otros materiales:

Tipo de unión	Posición de soldadura	Ángulo de trabajo	Ángulos de desplazamiento	Técnica de soldeo
Chafilán	Plana	90°	5° - 10°	Hacia atrás
Chafilán	Horizontal	80° - 100°	5° - 10°	Hacia atrás
Chafilán	Ascendente	90°	5° - 10°	Hacia adelante
Chafilán	Bajo Techo	90°	5° - 10°	Hacia atrás
Ángulo	Horizontal	45°	5° - 10°	Hacia adelante
Ángulo	Ascendente	35° - 55°	5° - 10°	Hacia adelante
Ángulo	Bajo Techo	30° - 45°	5° - 10°	Hacia atrás

Tabla 35. Orientaciones y técnicas típicas [19]

## 5.6 Técnicas operativas soldeo con electrodo revestido

Existen diversas técnicas operativas en la soldadura con electrodo revestido, a continuación, veremos las más utilizadas. Existe normativa que regula o informa acerca de las indicaciones a seguir durante el proceso de soldeo en cada técnica concreta. Por ejemplo, para el punteado:

La norma UNE 14055 es la que hace referencia al punteado, a modo resumen nos indica:

- El punteado se realizará con el mismo precalentamiento que se vaya a realizar el soldeo.
- El punteado que se pueda incorporar se realizara con el mismo electrodo que vayamos a utilizar en el proceso de soldeo.
- El punto de soldadura siempre deberá tener forma cóncava.
- Si la longitud a soldar es larga, el punteado se iniciará siempre en el centro de la pieza.

Es importante que a la hora de establecer el arco este se dé dentro de la zona de soldeo, nunca fuera de los bordes de unión evitando así la aparición de grietas en la zona de cebado.

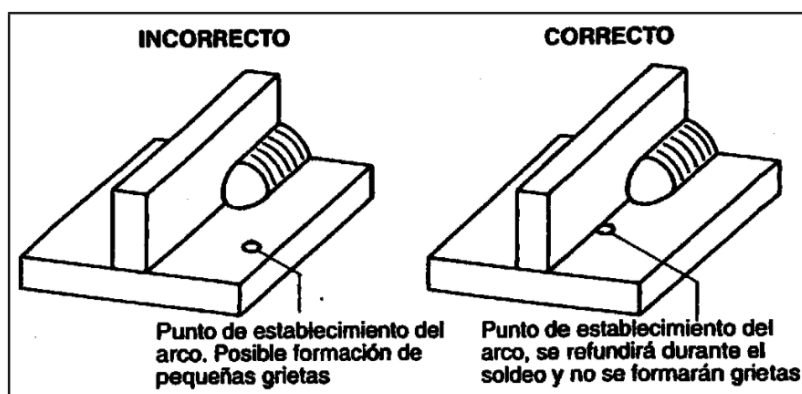

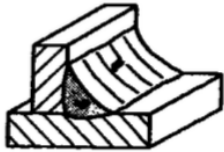


Figura 61. Establecimiento arco eléctrico [19]

Una vez hemos terminado el cordón de soldadura debemos retirar la escoria. Para ello utilizaremos una piqueta para picar la escoria y un cepillo de púas para cepillar todo el cordón realizado. Deberemos de retirar también las proyecciones que encontremos.

### 5.7 Defectos típicos de la soldadura con electrodo revestido

En las siguientes tablas veremos los defectos más comunes que podemos encontrar en las soldaduras realizadas con electrodo revestido:

<b>Defecto: Mordeduras</b>	
<p><i>Causa:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad de soldeo demasiado elevada.</li> <li>• Ángulo de desplazamiento excesivamente pequeño.</li> <li>• Arco largo.</li> </ul>	<p><i>Remedio:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar la intensidad adecuada para el diámetro, posición y tipo de electrodo.</li> <li>• Inclinar el electrodo hasta que el ángulo de desplazamiento sea de 5-10°.</li> <li>• Utilizar longitud de arco igual al diámetro del electrodo, o a la mitad si el electrodo es básico.</li> </ul>
<b>Defecto: Inclusiones de escoria</b>	
<p><i>Causa:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidad de soldeo muy baja.</li> <li>• Velocidad de desplazamiento elevada, que provoca el enfriamiento rápido de la soldadura no permitiendo la salida de la escoria.</li> <li>• Soldeo multipasadas sin retirar la escoria del cordón anterior.</li> </ul>	<p><i>Remedio:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar la intensidad suficiente que permita la salida de la escoria antes de que el metal aportado solidifique.</li> <li>• Reducir la velocidad de desplazamiento.</li> <li>• Extremar la limpieza; siempre retirar totalmente la escoria antes de realizar el siguiente cordón.</li> </ul>

**Tabla 36. Mordeduras [19]**





<b>Defecto: Porosidad</b>	
<p><i>Causa:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Suciedad en el metal base (óxidos, grasa, recubrimientos).</li> <li>• Arco demasiado largo.</li> <li>• Electrodo húmedos.</li> </ul>	<p><i>Remedio:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminar los restos de grasa o suciedad, y los recubrimientos antes de soldar.</li> <li>• Utilizar una longitud de arco adecuada y mantenerla durante el soldeo.</li> <li>• Conservar los electrodos adecuadamente evitando su contacto con cualquier fuente de humedad. Con electrodos básicos utilizar estufas y secar en el horno.</li> </ul>
<b>Defecto: Grietas en el cráter</b>	
<p><i>Causa:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrumpir el arco de forma brusca, especialmente al soldar con altas intensidades.</li> </ul>	<p><i>Remedio:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar una técnica de interrupción del arco adecuada.</li> </ul>
<b>Defecto: Inclusiones de escoria en la raíz</b>	
	<p><i>Remedio:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posicionar las piezas de forma que entre ellas siempre haya contacto.</li> </ul>
<b>Defecto: Grietas que parten de la intercara (metal de soldadura-metal base) de la unión</b>	
<p><i>Causa:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El material no es soldable.</li> <li>• Enfriamiento de la soldadura excesivamente rápido.</li> </ul>	<p><i>Remedio:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar las precauciones necesarias para soldar ese material. No soldar.</li> <li>• Evitar enfriamientos rápidos.</li> </ul>

Tabla 37. Porosidad [19]



<b>Defecto: Falta de fusión en los bordes</b>	
<p><i>Causa:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inadecuada limpieza, presencia de algún óxido o material extraño que impide la correcta fusión del material base.</li> <li>• Orientación inadecuada del electrodo.</li> <li>• Intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva.</li> </ul>	<p><i>Remedio:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar el material base, los chaflanes y por lo menos 25 mm a cada lado de la unión. Extremar la limpieza o decapado del acero inoxidable y de las aleaciones de aluminio.</li> <li>• Orientar el electrodo correctamente.</li> <li>• Elegir los parámetros de soldeo de forma adecuada.</li> </ul>
<b>Defecto: Falta de penetración</b>	
<p><i>Causa:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Talón de raíz excesivo o separación en la raíz insuficiente. Desalineamiento entre las piezas excesivo.</li> <li>• Intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva.</li> <li>• Diámetro del electrodo demasiado grande que no permite el acercamiento del electrodo a la raíz de la unión.</li> <li>• Diámetro del electrodo demasiado fino que no tolera la intensidad necesaria para conseguir buena penetración.</li> </ul>	<p><i>Remedio:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparar y ensamblar las piezas de forma adecuada.</li> <li>• Elegir los parámetros de soldeo de forma adecuada.</li> <li>• Seleccionar el diámetro adecuado.</li> <li>• Seleccionar el diámetro adecuado.</li> </ul>

Tabla 38. Falta de fusión en bordes [19]

## 5.8. Ventajas soldadura SMAW

Algunas de ellas ya se han comentado anteriormente en la explicación del proceso, pero a modo resumen podemos decir que las ventajas principales de dicho método son:

1. Para la realización de esta soldadura el equipo requerido es un equipo simple, portátil y de un relativo bajo costo.
2. Se puede utilizar para una gran variedad de metales.
3. Permite soldar en varias posiciones.
4. Es un proceso adecuado para trabajos de campo, es decir, en exteriores.

## 5.9. Desventajas soldadura SMAW

1. Es un proceso discontinuo, es decir, estamos obligados a ir interrumpiendo la soldadura que estamos realizando ya que los electrodos se van gastando, la longitud de los mismos es limitada.
2. No es un método sencillo, por lo que requiere de cierta experiencia por parte del soldador.
3. La soldadura puede tener o contener inclusiones de escoria.
4. Los humos dificultan el control del proceso. [2]

5.10. Comparativa métodos GTAW y SMAW

Una vez vistos ambos métodos de soldadura, a continuación se realiza una breve comparativa entre el proceso de soldadura TIG y la soldadura mediante electrodo revestido.

COMPARATIVA PROCESOS  
PROCESO GTAW Y SMAW

PROCESO	SMAW	GTAW
CALIDAD	Buena	Excelente
VELOCIDAD DEPOSICIÓN	Regular	Pobre
TRABAJO EN EXTERIOR	Excelente	Pobre
MANTENIMIENTO EQUIPO	Bajo	Bajo
HUMOS	Alto	Bajo
CONTROL CALOR APLICADO	Excelente	Buena
VISIBILIDAD ARCO	Buena	Excelente
VARIEDAD METALES A SOLDAR	Buena	Buena
SOLDADURA INTERRUPTIDA	Si	No
VARIEDAD POSICIONES SOLDADURA	Excelente	Normal
PORTABILIDAD EQUIPO	Buena	Bajo
COSTE EQUIPO	Bajo	Alto
ACABADO CORDÓN	Normal	Excelente
DIFICULTAD METODO	Medio	Alto

LIMPIEZA ESCORIA	Si	No
GAS PROTECCION	No	Si
COSTE SOLDADURA	Bajo	Elevado
ESPESORES SOLDADURA	Bueno	Malo



## Capítulo 6. Instrucciones de seguridad:

Este es un capítulo dedicado a la seguridad antes, durante y después de realizar la soldadura. Hay que tener en cuenta varios factores, ya que en todos los tipos de soldadura se trabaja con varios elementos que suponen un riesgo para el operario.

### 6.1 Equipo de seguridad

Toda soldadura involucra cierto riesgo por lo que se requiere de un equipo de protección adecuado, se debe evitar la exposición de la piel a la radiación ultravioleta e ir equipado para protegernos de cualquier quemadura, golpe, etc...

Básicamente el equipo necesario es el mismo que para cualquier otro proceso de soldeo por arco eléctrico:

- Funda de algodón ignifugada (cat. II)
- Botas
- Guantes de manga larga de cuero
- Mandil o chaqueta de cuero
- Polainas
- Manguitos y capuces (según trabajos)
- Mascarilla con filtro mínimo PII (dependiendo de las circunstancias)
- Pantalla de soldador con cristales inactivos, eso sí, adaptando el grado de protección de los oculares filtrantes a la técnica específica y a las intensidades manejadas (Existen tablas al respecto).



Ilustración 2 Protección personal [8]

## **6.2 Pantallas disponibles para la realización de la soldadura TIG**

La pantalla de soldadura es una de las piezas más importantes de protección personal que un soldador debe tener. Una buena pantalla protege los ojos y la piel no sólo de las proyecciones fuertes también de los rayos infrarrojos y ultravioleta que emite el arco.

Las características de protección de una pantalla, combinadas con el confort son lo que los soldadores deben tener en cuenta cuando seleccionan la pantalla correcta para sus necesidades.

La pantalla correcta debe ser confortable para todo un día de trabajo, proporcionando flexibilidad en los ajustes mientras protege los ojos y cara de las proyecciones y rayos infrarrojos.

Las pantallas de hoy en día son mucho más funcionales que hace 10 o 15 años. Están diseñadas para adaptarse a las necesidades específicas de un soldador en cualquier trabajo. Todas, incluso la más económica, cumplen las estrictas normas de seguridad en todo el mundo. En Estados Unidos, por ejemplo, la norma estándar es ANSI Z87.1 y en Canadá CAN/CSA Z94.3. Estas normas se refieren a la fuga de luz, llama y resistencia a impactos.

Las pantallas que ofrecen una oscuridad fija pueden ser más difíciles de usar debido a que un soldador/soldadora tienen que levantar la pantalla cada vez que quieran examinar la soldadura y la unión, ajustar su posición, prepararse de nuevo para la soldadura y girar de nuevo la pantalla cuando es el momento del cebado. Este movimiento repetitivo puede provocar tensión en el cuello y fatiga después de un día de trabajo. Además, en espacios reducidos o limitados, puede ser difícil mover la pantalla arriba y abajo.

Los soldadores profesionales deberían considerar el uso de las pantallas auto-oscorecibles más avanzadas con controles continuamente variables que se ajustan a la luz de oscuro a claro. Estas pantallas protegen de las emisiones nocivas de la luz en todo momento y se oscurecen a cualquier tono preseleccionado en milisegundos, gracias a la tecnología LCD (Liquid Crystal Display) que cambia rápidamente en los cartuchos de auto-oscorecimiento.

Con las pantallas de auto-oscorecimiento, los soldadores pueden ver claramente mientras la pantalla está en posición hacia abajo, por lo que la soldadura en una junta puede hacerse con la pantalla en su posición. Estas pantallas permiten el trabajo más continuado, reduciendo paradas y arranques innecesarios y la necesidad del soldador de reajustar la pantalla y establecer la posición.

## **6.3 Consideración de selección de pantalla para soldadura**

¿Cuáles son los factores más importantes a considerar cuando se selecciona una pantalla? que sea segura, confortable y funcional.

Tenemos tres grupos diferenciados por sus características y sus usos:

1. Pantalla o mascara de soldar de mano.
2. Pantalla o mascara de soldar de cabeza.

3. Pantalla o mascara de soldar fotosensible.

### 6.3.1 Pantalla o mascara de soldar de mano

Estas pantallas de soldar son muy prácticas para los trabajos de punteado, especialmente cuando se trabaja en pareja.

También es cierto que hace falta coger algo de destreza, porque, aunque te parezca mentira, es muy fácil que te den los fogonazos antes de que te hayas cubierto la cara. Esta falta de destreza origina en gran medida las quemaduras en los ojos a los iniciados en la soldadura. Pues es fundamental coger una coordinación básica y antes de cebar el electrodo, tener cubierto el rostro.

Sus características son bastante sencillas, la principal de este grupo es que está provista de un mango o asidero (empuñadura) de sujeción para poder trabajar. Suelen ser ligeras de peso y muy manejables, fabricadas con distintos materiales como: fibra de vidrio, fibra vulcanizada, poliamida con fibra de vidrio...

Todas tienen en común que están provistas de cristales inactínicos de distintos DIN, entre 9 y 13 habitualmente (estos son los cristales oscuros, cuanto mayor sea el número, más oscuro será).



Figura 62. Pantalla de mano [9]

### 6.3.2 Pantalla o mascara de soldar para cabeza

Este tipo de mascara de soldar es el recomendado para soldar cordones más continuos, es el que utilizan los soldadores. Con este tipo de pantalla se consigue una mayor protección de todo el rostro facial.

La pantalla de cabeza está pensada para trabajos más largos en el tiempo y que el operario tenga las dos manos libres para sujetarse o apoyarse y lograr un mejor punto de apoyo. Cuando tienes un punto de apoyo es más fácil que los cordones de soldadura sean más uniformes.

La principal característica que define este tipo es que, lleva un cabezal incorporado con la pantalla o máscara de soldar para poder sujetarla en nuestras cabezas.

Estos cabezales son regulables en medidas para los distintos perímetros de cabeza para cada persona. También están provistas de cristales inactínicos.

Los materiales para su elaboración son distintos: fibra vulcanizada, polipropileno...



**Figura 63. Pantalla para cabeza [9]**

### **6.3.3 Pantalla o máscara de soldar fotosensible**

Estas mascararas de soldar son relativamente nuevas en el mercado, son tremendamente prácticas y cómodas. Es el tipo de pantalla de soldar más recomendable para personas con poca experiencia. El motivo es sencillo, puedes bajar y cubrir tu rostro antes de cebar el arco de la soldadura. Al ser un visor que te permite ver cuando no estás soldando, esta condición aumenta enormemente las condiciones de seguridad respecto a las quemaduras de ojos.

Es cierto que sus precios son más elevados.

#### **6.3.3.1 Ventajas de las máscaras de soldar fotosensibles**

1. No hace falta la intervención del operario para oscurecer.
2. Se alimenta con células solares y 2 baterías de litio. Su recarga es automática. Las de litio son para asegurar la respuesta del visor por si están descargadas las baterías solares.
3. La protección UV (rayos ultravioletas) /IR (rayos infrarrojos) es continua aún es estado claro. DIN 15.

4. El visor cumple con todas las normas
5. Mejora la productividad del operador al permitirle
6. Trabajar seguro y confortable.



**Figura 64. Mascara fotosensible [9]**

Al evaluar diversas pantallas hay que buscar los modelos que tienen una cobertura total contra proyecciones y resistente a impactos. El tamaño de visualización de la pantalla es también un factor importante a considerar. A pesar de que se basa en la preferencia, la cantidad de soldadura en posición realizada puede afectar a la cantidad de visión necesaria en la pantalla. Algunos de los mayores tamaños de visión en los modelos de pantallas auto-oscorecibles tienen un tamaño de 97 x 62 mm (3.82 x 2.44 inch) o superior, que ayuda a tener una visión natural y clara en combinación con la tecnología LCD de la pantalla del casco.

Hay que revisar también los ajustes de sensibilidad de luz. Muchas pantallas en la actualidad tienen los ajustes que pueden alternar entre rangos, proporcionando tonos que van desde 6 a 9 ó 9 a 13. Esta escala permite a los soldadores optimizar el oscurecimiento para una mayor comodidad en cualquier aplicación. Cualquier persona que se mueve entre las aplicaciones requiere cambios de tensión en la máquina, amperaje, ajustes de velocidad de alimentación o cambios entre los procesos de soldadura que se pueden beneficiar de esta flexibilidad. Por ejemplo, la soldadura de materiales gruesos a altas intensidades generalmente requiere elevados niveles de oscurecimiento. MIG bajo amperaje o soldadura TIG se realiza mejor con niveles bajos de oscurecimiento para asegurar la visibilidad adecuada del baño en el arco.

Los modelos Premium también permitirán al usuario controlar el retardo y sensibilidad. Modificar la sensibilidad del arco en la pantalla ayuda a asegurar que se oscurece tal como desea el usuario. Por ejemplo, si hay otros soldadores trabajando muy cerca, la sensibilidad del sensor de arco se puede reducir para ayudar a prevenir la activación u oscurecimiento cuando estos soldadores golpean su propio arco.

Los controles de retardo se pueden utilizar para alargar o acortar la cantidad de tiempo que necesita la pantalla para volver a su estado de luz una vez finalizada la soldadura. Esto puede ser útil cuando la soldadura es por puntos, cuando la duración de la soldadura es corta y el soldador planea moverse rápidamente. Por otra parte, la realización de soldaduras largas en materiales gruesos, puede requerir que el retraso se pueda ajustar para períodos más largos de tiempo. Generalmente el retardo se puede ajustar durante 0.5 segundos hasta dos segundos.



**Figura 65. Pantalla protección [9]**

## Capítulo 7. Normativa, organismos y cualificación en la soldadura

En el mundo de la soldadura actualmente no existe una regulación o estandarización de normas que regulen, por lo que son los diferentes organismos existentes en diferentes países, los encargados de crear y obligar que se aplique algún tipo de normativa, de tal forma que las soldaduras realizadas cumplan con unos mínimos estándares, asegurando una calidad en los trabajos realizados.

Lógicamente, a mayor responsabilidad tenga una soldadura, o más riesgos suponga una reparación, mayor será la normativa exigible, y estos órganos o instituciones, son los encargados de verificar y certificar dichos trabajos de soldeo.

Estas instituciones, también se encargan de la formación en muchos casos, tanto de personal destinado a realizar soldadura, como personal encargado de verificar o certificar los trabajos realizados por el soldador.

### 7.1 International Institute of Welding (IIW)

El principal organismo regulador internacional, es el instituto internacional de soldadura, es un organismo internacional científico y de ingeniería para soldadura, soldadura fuerte y tecnologías relacionadas. Su membresía está formada por las sociedades nacionales de soldadura de todo el mundo. El Instituto fue fundado en 1948 por 13 sociedades nacionales.

Esta reconocido como el centro de referencia más importante a nivel mundial en relación con las tecnologías de unión y soldadura.

Funciona como el organismo mundial para la ciencia y la aplicación de tecnologías de unión, proporcionando un foro para la creación de redes y el intercambio de conocimientos entre científicos, investigadores, la industria y los educadores, y difundiendo información de vanguardia y mejores prácticas.

A través del trabajo de sus Unidades Técnicas de Trabajo, el enfoque técnico de la organización abarca la unión, corte y tratamiento de superficies de materiales metálicos y no metálicos mediante procesos de soldadura, soldadura fuerte, soldadura, corte térmico, pulverización térmica, adhesivo y micro unión.

El trabajo de IIW también abarca actividades que incluyen control de calidad, pruebas no destructivas, estandarización, inspección, salud y seguridad, educación, capacitación, calificación, certificación, diseño y fabricación.

El IIW es un organismo de normalización aprobado por la Organización Internacional de Normalización (ISO) para desarrollar estándares en el campo de la soldadura y procesos relacionados con ella.

La Base de datos técnica de IIW constituye el recurso online más grande del mundo para la información de soldadura disponible en la actualidad. Los artículos más destacados se publican en la prestigiosa revista "Welding in the World"

Sus programas de certificación para el personal y las empresas de soldadura son reconocidos en todo el mundo. Los sistemas desarrollados para la educación y la capacitación están allanando el camino hacia un sistema global de educación y calificación para el personal de soldadura.

## **7.2 European Federation for Welding (EFW)**

La European Federation for Welding es una asociación europea sin ánimo de lucro cuyos objetivos principales son:

- Colaborar en el estudio y la solución de los problemas relacionados con la soldadura encontrados en sus ámbitos de competencia.
- Fomentar proyectos de investigación cooperativa y contribuir a la eliminación de barreras técnicas.
- Facilitar el intercambio de información científica y técnica.
- Elaborar normas armonizadas para la educación y la formación del personal que trabaja en la soldadura, la unión y las tecnologías afines.
- Actuar como representante de la comunidad del soldeo en Europa.

La EWF, junto con las organizaciones nacionales de soldadura de 31 países europeos, ha realizado grandes esfuerzos en la actualización y armonización de la formación y la educación en el campo de la tecnología de soldeo. Fue una organización pionera en educación y cualificación, desarrollando el primer esquema verdaderamente armonizado que abarca a los países europeos para la formación de personal a todos los niveles, desde personal de taller hasta ingenieros.

Comenzó en la década de 1980 un análisis de los niveles existentes de educación en soldeo en los países de la UE y de la AFTA y, en base los resultados, fue posible definir niveles armonizados comunes de educación, capacitación y cualificación.

Consciente de la importancia de la movilidad de la mano de obra en Europa, se ha trabajado mucho en la armonización de un sistema normalizado de examen para garantizar que el personal de soldadura formado en el sistema EWF sea examinado de manera uniforme, permitiendo la implementación de un sistema de certificación donde el reconocimiento de las habilidades del personal se lleva a cabo de acuerdo con el mismo estándar mínimo.

## **7.3 Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ)**

Es una organización portuguesa privada e independiente, sin ánimo de lucro, fundada en 1965, que proporciona apoyo científico y tecnológico y promueve la mejora continua, la innovación y la seguridad de las personas y la propiedad industrial y de servicios, con una presencia internacional y vocación, sosteniendo ramas y empresas en más de 40 países de todo el mundo, lo que garantiza su sostenibilidad y el desarrollo de sus empleados.



ISQ está certificado bajo la gestión de la Calidad, Medio Ambiente y seguridad de acuerdo a las normas ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001, y es también un organismo acreditado para la formación de formadores y profesores. ISQ también está acreditado para certificar personas de acuerdo a la norma ISO 17024 y nuestros laboratorios están certificados por la norma ISO 17025.

#### **7.4 Progress SRL – Italia (IIS)**

En 2013, la reorganización del Instituto Italiano de Soldadura se completó mediante la creación de IIS PROGRESO SRL, la empresa del Grupo IIS que lleva a cabo actividades de investigación, educación y formación y de laboratorio orientadas a apoyar a la industria en el progreso tecnológico sostenible.

IIS PROGRESS realiza las actividades tradicionales de la formación teórica y la formación práctica del personal en el campo de las técnicas de unión y ensayos no destructivos y, en su laboratorio, realiza análisis, pruebas e inspección de materiales y componentes de construcción, proporciona asistencia técnica y lleva a cabo estudios científicos, investigaciones y experimentos en el campo del soldeo y sus tecnologías afines y todas sus aplicaciones industriales.

#### **7.5 Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión (CESOL)**

Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión es una Asociación de Personas y Empresas, independiente y sin ánimo de lucro, al servicio del soldeo y demás tecnologías de unión. La organización está especializada en información, certificaciones de personas, productos y procesos, formación, asesoramiento y asistencia técnica para sectores industriales que utilicen la soldadura y otras tecnologías de la unión. Actualmente CESOL cuenta con 11 trabajadores en plantilla.

El CESOL mantiene relaciones permanentes con prácticamente todas las Asociaciones e Institutos Nacionales con similares características de todo el mundo, bien directamente o a través de las organizaciones: EWF, de la que es miembro e IIW, aportando uno de los representantes nacionales en sus órganos de gobierno.

## 7.6 Institut Català de la Soldadura (ITCS)

La Asociación Institut Tècnic Català de la Soldadura (ITCS) es una organización independiente de carácter profesional y sin ánimo de lucro, formada por personas (miembros individuales) y entidades (miembros empresariales).

Los objetivos principales del ITCS son el estudio y la difusión de la soldadura y demás tecnologías de unión con focalización específica en el aseguramiento de la calidad del soldeo de producción en cualquier sector industrial.

El ITCS fue fundado en el año 1996 por un grupo de ingenieros y técnicos, todos ellos profesionales de la soldadura, con la finalidad primordial de dar soporte a las empresas ante su necesidad de adaptarse a los nuevos retos de unos mercados más globales.

Actualmente, el ITCS cuenta con un importante equipo de colaboradores (Ingenieros, Técnicos, Especialistas y otros Profesionales de la soldadura y técnicas afines de corte y unión), con probada y reconocida experiencia tanto en centros académicos como en diferentes sectores industriales.

## 7.7 Normativa reguladora

Una vez vistos los diferentes órganos reguladores y creadores de normativa, veamos cómo se certifica y que normativa específica se aplica o se debe cumplir para la soldadura.

Una cualificación (homologación) es la constatación por escrito que una empresa o persona sabe realizar un trabajo en soldadura de manera correcta. Toda soldadura debe estar debidamente cualificada, por ello se debe homologar tanto el procedimiento de la soldadura como el soldador.

Las soldaduras están consideradas dentro de la Norma EN 29000/ISO 9000 como un proceso especial. Esto se debe a la imposibilidad de inspeccionar totalmente a la terminación de una soldadura si cumple con la calidad requerida. Por este motivo existen códigos y normas para poder establecer cierto control sobre las soldaduras con el fin de determinar las calidades de las mismas.

Tal y como he comentado se regulan mediante un conjunto de normas y especificaciones dos elementos principales:

- El procedimiento (WPQR / WPS) (ISO 15614 / 15613)
- El soldador (WPQ) (ISO 9606 / ISO 14732 )

Destacar también:

- UNE-EN ISO 5817:2004 Uniones soldadas por fusión en aceros, níquel, titanio y sus aleaciones (excluido el soldeo por haz de electrones). Niveles de calidad para las imperfecciones (ISO 5817:2003)
- UNE-EN ISO 10042:2005 Uniones soldadas por arco de aluminio y sus aleaciones. Niveles de calidad para las imperfecciones (ISO 10042:2005).

La Calificación de Soldaduras es un proceso que va tomando mayor importancia y demanda, pues se requiere que las soldaduras ejecutadas en una amplia variedad de aplicaciones de Ingeniería Mecánica y sectores industriales, así como en el sector de la construcción naval cumplan con los requisitos del Código de Calificación aplicado; para de esta forma, alcanzar en cada caso los estándares de calidad

convenientes; debiéndose tener en cuenta que, dicho código debe elegirse de acuerdo al tipo de servicio que prestará la soldadura y a las características del material a soldar.

Como ya hemos introducido, el objetivo de la calificación de una soldadura es determinar si reúne todos los requisitos visuales, radiográficos o de ultrasonido, y mecánicos para asegurar su calidad.

UNE-EN ISO 3834. Requisitos de la calidad para el soldeo por fusión de materiales metálicos. Esta norma establece tres niveles de calidad, EN ISO 3834-2 requisitos de calidad completos, EN ISO 3834-3 requisitos de calidad estándar y EN ISO 3834-4 requisitos de calidad elementales. Es una norma de aplicación a la fabricación y aplicable tanto en talleres como en montajes de campo.

### **7.7.1 Procedimiento de soldadura WPQR/WPS**

Las siglas WPQR/WPS se refieren en inglés Welding Procedure Qualification Record / Welding Procedure Specification. Hace referencia a la certificación de los procesos de soldadura.

El objetivo de la calificación de una soldadura es determinar si esta reúne todos los requisitos necesarios, visuales, mecánicos, radiográficos etc... para asegurar la calidad del procedimiento. De esta forma aseguramos o garantizamos que esa soldadura se ha realizado de forma satisfactoria para el fin de la misma.

El primer paso es construir las especificaciones del procedimiento de soldadura, el Procedimiento de Soldadura (WPQR o WPS), tomando en consideración el tipo de proceso de soldadura, el diseño de la unión, el metal base, el material de aportación, la protección contra la acción atmosférica, la posición de la soldadura, características eléctricas con las que se va a soldar y la técnica utilizada para la realización del cordón.

Además, según el espesor del metal base se determinará si es necesario precalentamiento o no, consultando los manuales técnicos correspondientes.

Los procedimientos de soldeo son el conjunto de documentos que nos permitirán llevar un control sobre las operaciones de soldeo, comprobando al mismo tiempo el buen resultado de la soldadura diseñada.

La Norma Nacional, armonizada con la internacional ISO es la Norma UNE-EN ISO 15607 de 2004, aunque muchas empresas que trabajan para mercados extranjeros emplean el Código ASME sección IX. La UNE-EN ISO 15607, comprende las especificaciones del procedimiento de soldeo, la UNE-EN ISO 15609-1:2005, la cualificación de los procedimientos de soldeo que es la norma UNE-EN ISO 15614-1:2005, para los materiales metálicos y de ella se derivan las siguientes normas:

- UNE-EN ISO 15614-2 Cualificación de procedimientos de soldeo por arco de aluminio y sus aleaciones.
- UNE-EN ISO 15610:2004 Cualificación mediante el empleo de consumibles cualificados para el soldeo por arco.
- UNE-EN ISO 15611:2004 Cualificación mediante experiencia previa de soldeo.
- UNE-EN ISO 15612 Cualificación mediante un procedimiento de soldeo estándar para el soldeo por arco.
- UNE-EN ISO 15613:2005 Cualificación mediante pruebas de soldeo anteriores a la producción.
- UNE-EN ISO 15609-1:2005 Especificación del procedimiento de soldeo.

Esta parte nos describe cómo preparar el documento que no permitirá efectuar el diseño de la soldadura, indicando las denominadas *variables esenciales* como proceso de los materiales tanto base como los de aportación, diseño de la junta y parámetros de soldeo incluyendo los gases de protección a utilizar y tratamientos térmicos si son necesarios.

WPS ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Nombre de la Empresa: <u>TESIS</u>					Identificación No.: <u>1</u>					
Proceso(s) de soldadura: <u>SMAW</u>					Supete del POR No.: <u>1</u>					
TIPO: MANUAL <input checked="" type="checkbox"/> SEMIAUTOMÁTICO <input type="checkbox"/> AUTOMÁTICO <input type="checkbox"/>					Revisión: _____ Fecha: _____ Por: _____					
Soldador: <u>Marcos Acosta (M.A.)</u>					Autorizado por: _____					
<b>DISEÑO DE UNIÓN</b> Tipo de Unión: <u>a Topp</u> Tipo de soldadura: <u>Ranura en V</u> SIMPLE <input checked="" type="checkbox"/> DOBLE <input type="checkbox"/> Abertura de Raiz: <u>3.2 mm</u> Longitud de cara de Raiz: <u>3.2 mm</u> Ángulo de ranura: <u>60°</u> Radio (R/U): <u>-</u> Soporte: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Material del soporte: <u>-</u> Limpieza de raíz: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Método: <u>esmeril</u>					<b>POSICIÓN</b> RANURA: <u>3G</u> FILETE: <u>-</u> PLANCHAS: <input checked="" type="checkbox"/> TUBERÍA: <input type="checkbox"/>					
<b>METALES BASE</b> Grupo: <u>MB 1</u> <u>MB 2</u> Especificación del Acero: <u>ASTM A-131</u> <u>ASTM A-131</u> Grado: <u>-</u> <u>-</u> Espesor de plancha: <u>9.5mm (3/8")</u> <u>9.5mm (3/8")</u> Diámetro (tubería): <u>-</u> <u>-</u>					<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b> MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW): CORTO CIRCUITO <input type="checkbox"/> GLOBULAR <input type="checkbox"/> SPRAY <input type="checkbox"/> CORRIENTE: AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/> PULSO <input type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/>					
<b>METAL DE APORTE</b> Especificación AWS: <u>A 5.1</u> Clasificación AWS: <u>E 6011 y E 7018</u> Marca: <u>INDURA</u> Tamaño del electrodo: <u>3.2 mm</u>					<b>TÉCNICA</b> APORTACIÓN: RECTA <input type="checkbox"/> OSCILANTE <input checked="" type="checkbox"/> PASE: SIMPLE <input type="checkbox"/> MÚLTIPLE <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza entre pases: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Método: <u>esmeril</u>					
<b>PROTECCIÓN</b> Fundente: <u>Revestimiento</u> Gas: <u>-</u> Composición: <u>-</u> Velocidad de flujo: <u>-</u> Tamaño de la boquilla: <u>-</u>					<b>PRECALENTAMIENTO</b> Temperatura de precalentamiento: <u>-</u> Temperatura de interfase: <u>-</u>					
					<b>POSTCALENTAMIENTO</b> Temperatura: <u>-</u> Tiempo: <u>-</u>					
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA										
Pase	Proceso	Progresión	Clase	Diám. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (Amp)	Voltaje (VAC)	Velocidad de avance (mm/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Detalles de la Unión y Secuencia de soldadura
1	SMAW	ASCEND.	E 6011	3.2	DCEP	105	17-19		84	
2	SMAW	DESCEND.	E 7018	3.2	DCEP	140	19-21		127	
3	SMAW	ASCEND.	E 7018	3.2	DCEP	140	19-21		64	
ELABORADO POR: _____ FECHA: _____										
APROBADO POR: _____ COMPAÑÍA: _____										

Figura 66 Ejemplo WPS [25]

Ejemplo de WPS de una soldadura de ranura en plancha aplicada en la construcción de cascos de embarcaciones marinas.

La cualificación de un procedimiento de soldeo está fundamentada en ensayos (ensayos del procedimiento de soldeo) que se realizan sobre probetas soldadas normalizadas (cupones de ensayo). El objeto de la misma es cualificar una especificación de procedimiento de soldeo preliminar (pWPS) y definir el rango de cualificación para todas las operaciones comprendidas.

El registro de cualificación del procedimiento de soldeo (WPQR) es un documento donde se registran detalladamente todos los resultados de evaluación de los cupones de ensayo y se valida el cumplimiento de los mismos con los requisitos correspondientes.

<b>pWPS nº</b>	<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDEO PRELIMINAR</b> <i>PRELIMINARY WELDING PROCEDURE SPECIFICATION</i>	<b>NOMBRE EMPRESA</b> <b>o</b> <b>LOGO EMPRESA</b>
	<b>UNE-EN ISO 15609-1:2005</b>	

<b>Número de WPQR:</b> N/A <i>WPQR No:</i> _____ <b>Fabricante:</b> _____ <i>Manufacturer:</i> _____ <b>Modo de transferencia del metal:</b> _____ <i>Mode of metal transfer:</i> _____ <b>Tipo de unión y tipo de soldadura:</b> _____ <i>Joint type and weld type:</i> _____ <b>Detalles de la preparación de la soldadura (croquis)</b> <i>Weld preparation details (sketch)</i>	<b>Método de preparación y limpieza:</b> _____ <i>Method of preparation and cleaning:</i> _____ <b>Designación del metal base:</b> _____ <i>Parent material designation:</i> _____ <b>Espesor del metal (mm):</b> _____ <i>Material thickness (mm):</i> _____ <b>Diámetro exterior (mm):</b> _____ <i>Outside diameter (mm):</i> _____ <b>Posición de soldo:</b> _____ <i>Welding position:</i> _____
--	--

<b>Diseño de la unión</b> <i>Joint design</i>	<b>Secuencia de soldo</b> <i>Welding sequence</i>

<b>Detalles de soldo</b> <i>Welding details</i>									
<i>Run</i>	<i>Welding process</i>	<i>Size of filler metal</i>	<i>Current (A)</i>	<i>Voltage (V)</i>	<i>Type of current/ Polarity</i>	<i>Wire feed speed (m/min)</i>	<i>Travel speed (mm/s)</i>	<i>Heat input (kJ/mm)</i>	<i>Pulsed welding program No</i>

**Nota:** En caso de no disponer el equipo de amperímetro y de rango de velocidad de alimentación del alambre, se indicarán las posiciones de los controles respectivos y el alcance de la WPS, será únicamente para ese tipo particular de equipos (Véase página anexa)

**Note:** In case that the welding machine does not have amperimeter and range of wire feeding speed, the positions of respective controls will be indicated, and the range of this WPS will be only applicable for these kind of machines (See annex sheet)

**Designación y marca de los consumibles de soldo:**  
*Filler material designation and make:* \_\_\_\_\_

**Requisitos especiales de secado:**  
*Any special baking or drying:* \_\_\_\_\_

<b>Designación del gas/fundente:</b> _____ <i>Designation gas/flux:</i> _____ <b>Caudal de gas (L/min):</b> _____ <i>Gas flow rate (L/min):</i> _____ <b>Electrodo de wolframio, Tipo/ Medidas:</b> _____ <i>Tungsten electrode Type/ Size:</i> _____ <b>Detalles del resanado/respaldo:</b> _____ <i>Details of back gouging/backing:</i> _____ <b>Temperatura de precalentamiento (° C):</b> _____ <i>Preheat temperature (° C):</i> _____ <b>Temperatura entre pasadas (° C):</b> _____ <i>Interpass temperature (° C):</i> _____ <b>Post calentamiento:</b> _____ <i>Post-heating:</i> _____ <b>Mantenimiento de la temperatura de precalentamiento:</b> _____ <i>Pre-heat maintenance temperature:</i> _____	<b>Otra información:</b> _____ <i>Other information:</i> _____ <b>Oscilación (ancho máximo de la pasada):</b> _____ <i>Weaving (maximum width of run):</i> _____ <b>Oscilación: amplitud, frecuencia, tiempo de parada:</b> _____ <i>Oscillation: amplitude, frequency, dwell time:</i> _____ <b>Detalles de soldo pulsado:</b> _____ <i>Pulse welding details:</i> _____ <b>Distancia tubo de contacto/pieza:</b> _____ <i>Distance contact tube/work piece:</i> _____ <b>Detalles del soldo por plasma:</b> _____ <i>Plasma welding details:</i> _____ <b>Ángulo de la pistola:</b> _____ <i>Torch angle:</i> _____
--	--

**Tratamiento térmico post soldadura y/o envejecimiento (tiempo, temperatura, método: velocidades de calentamiento y enfriamiento):**  
*Post-weld heat treatment and/or ageing (time, temperature, method: heating and cooling rates):* \_\_\_\_\_

RQFP-002 Rev 7 (07-02-2011) Especificació de procediment de soldadura preliminar. Norma Europea. Soldadura a l'Arc. Metalls

Figura 67. Ejemplo WPS [25]

## 7.8 Ensayos de calificación

En este capítulo veremos algunos de los ensayos existentes para la calificación de las soldaduras, es decir, si una soldadura cumple con todos los requisitos exigibles por la norma y por tanto es considerada como aceptable o no. Existen ensayos destructivos y ensayos no destructivos, lógicamente, según el nivel “responsabilidad” que tenga una soldadura, se le exigirá más y el ensayo será más exhaustivo.

Existe una norma que regula la cualificación del procedimiento de soldeo. La cualificación de un procedimiento recoge los ensayos tanto destructivos como no destructivos para validar el proceso de soldeo o WPS.

Se realiza la soldadura de la probeta o el cupón y posteriormente a realizar una inspección visual y líquidos penetrantes, si son requeridos, la probeta se lleva al laboratorio donde se realizarán los oportunos ensayos que estipula la Norma.

Todos estos datos son indicados por la parte inspectora o el fabricante en un documento llamado Registro de Cualificación del Procedimiento de Soldero “WPQR” (Welding procedure qualification report).

### 7.8.1 Inspección visual

Este deberá ser el primer ensayo a realizar tras ejecutar la soldadura. Esta parte es fundamental la experiencia del inspector, las soldaduras deberán reunir los siguientes requisitos visuales:

1. Estar libre de grietas.
2. Todas las grietas deben rellenarse a través de toda la sección de la soldadura.
3. La cara de la soldadura deberá estar al ras con la superficie del metal base, y el cordón deberá fusionarse suavemente con el metal base. El socavamiento no deberá exceder 1 mm. El reforzamiento de la soldadura no deberá exceder los 3mm.
4. La raíz de la soldadura será inspeccionada y no deberá haber evidencia de grietas, fusión incompleta, o penetración inadecuada en la unión.

### 7.8.2 Ensayos no destructivos

Será aplicado a la soldadura si esta ha superado la Inspección Visual. El ensayo no destructivo puede ser Radiografía o de ultrasonido.

En el ensayo de Radiografía las discontinuidades redondeadas o alargadas que pudieran encontrarse se someterán a uno de los siguientes tipos de Criterios de Aceptación:

1. Criterios de Aceptación para conexiones No tubulares cargadas estáticamente.
2. Criterios de Aceptación para Conexiones No tubulares con Carga cíclicas de tensión o compresión, o con discontinuidades cuya dimensión mayor sea menor a 1.66 mm
3. Criterios de Aceptación para conexiones Tubulares.

### 7.8.3 Ensayos mecánicos

Se trata de un ensayo de tipo destructivo. El tipo de ensayo mecánico así como el número de probetas requeridas se determinarán de acuerdo al espesor del metal base.

Estos ensayos se clasifican en:

1. Ensayo de Tensión con Sección Reducida

## 2. Ensayo de Doblado: la Cara, Raíz y Lado.

El criterio de Aceptación para el ensayo de Tensión con Sección Reducida es que el esfuerzo de fluencia de las probetas ensayadas sea mayor o igual al del metal base.

*\*Esfuerzo de fluencia:* indicación del esfuerzo máximo que se puede desarrollar en un material sin causar una deformación permanente especificada y es una aproximación practica de límite elástico.


El Criterio de Aceptación del Ensayo de Doblado es que la superficie convexa de los especímenes doblados deberá analizarse buscando discontinuidades que no podrán exceder las siguientes dimensiones:

- Ninguna discontinuidad deberá exceder de 3 mm medidos en cualquier dirección de la superficie.
- La suma de las dimensiones más grandes de todas las discontinuidades que excedan de 1 mm y sean menores a 3 mm no deberá ser mayor a 10mm.
- La longitud máxima de una grieta de borde debe ser de 6 mm de largo y no tener evidencia de inclusiones de escoria visible u otro tipo de discontinuidades de fusión, en cuyo caso debe considerarse un tamaño máximo de 3mm.
- Los especímenes que contengan grietas de borde que excedan los 6 mm de largo y no tengan evidencia de inclusiones de escoria o cualquier otro tipo de discontinuidad de fusión deberán ser ignoradas, y tendrán que reemplazarse por probetas del mismo tipo, obtenidas de la soldadura original.

La extracción de los especímenes de prueba de una plancha o tubo soldado podrá efectuarse por corte térmico o en el caso de planchas por medio de cizalla. Los bordes de las probetas cortadas podrán ajustarse mediante maquinado, hasta obtener las dimensiones requeridas en las probetas para cada tipo de ensayo.




A continuación, veremos un ejemplo de un documento WPQR:

WPQR nº	CUALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDEO WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD	
	UNE-EN ISO 15614-1:2018	


  


**CERTIFICADO DE LA PRUEBA / TEST CERTIFICATE**


  


<b>Núm. de WPQR del fabricante:</b> <i>Manufacturer's WPQR no.:</i> _____	<b>Organismo examinador:</b> <i>Examining body:</i> _____
<b>Fabricante:</b> <i>Manufacturer:</i> _____	
<b>Dirección:</b> <i>Address:</i> _____	
<b>Código/Norma de ensayo:</b> <i>Code/testing standard:</i> _____	
<b>Nivel:</b> <i>Level:</i> _____	2
<b>Fecha de soldeo:</b> <i>Date of welding:</i> _____	dd/mm/aaaa


  















RQFP - 003 Rev 11 (12-01-2018) Registre de qualificació de procediment de soldadura. Norma Europea. Soldadura per Arc i Oxigèn. Acer i Niquel.

**1 de 5**

Figura 68. WPQR 1 [25]

WPQR nº	CUALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDEO WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD						
	UNE-EN ISO 15614-1:2018						

CUPÓN DE PRUEBA TEST PIECE				RANGO DE CUALIFICACIÓN RANGE OF QUALIFICATION		
Tipo de producto Product form						
Proceso(s) de soldo Welding process(es)	ISO 4063	1	2	3	1	2
Espesor de metal depositado Deposited metal thickness	mm					
Tipo de unión y de soldadura Type of joint and weld						
Grupo(s) y subgrupo(s) del material base Parent material group(s) and sub-group(s)						
Espesor del material base Parent material thickness	mm					
Espesor de garganta Throat thickness	mm					
Pasada simple / Multipasada Single layer / Multi-run						
Diámetro exterior del tubo Outside pipe diameter	mm					
Designación del material de aportación Filler material designation						
Marca del material de aportación Filler material make						
Tamaño del material de aportación Filler material size	mm					
Designación del gas de protección / Fundente Designation of shielding gas / Flux						
Designación del gas de respaldo Designation of backing gas						
Tipo de corriente de soldo y Polaridad Type of welding current and Polarity						
Modo de transferencia Transfer mode	ISO 4063					
Aporte térmico Heat input	EN 1011 kJ/mm					
Posiciones de soldo Welding positions	ISO 6947					
Temperatura de precalentamiento Preheat temperature	°C					
Temperatura entre pasadas Interpass temperature	°C					
Post-calentamiento Post-heating						
Tratamiento térmico posterior al soldo Post-weld heat-treatment	°C					
Otra información Other information						

Confirmamos que los datos de este registro son correctos y que los cupones de prueba fueron preparados, soldados y ensayados satisfactoriamente de acuerdo con los requisitos de la Norma ISO 15614-1.

We confirm that the statements in this record are correct and that the test pieces were prepared, welded and tested and have fulfilled the requirements in accordance with ISO 15614-1.

Lugar Location	Fecha Date	Organismo examinador Examining body
Rubi (Barcelona)	dd/mm/aaaa	Institut Tècnic Català de la Soldadura

2 de 5

Figura 69. WPQR 2 [25]

<b>WPQR nº</b>	<b>CUALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDEO</b> <i>WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD</i>								
<b>UNE-EN ISO 15614-1:2018</b>									
<b>REGISTRO DEL ENSAYO DE SOLDADURA / RECORD OF WELD TEST</b>									
<b>Lugar:</b> <i>Location:</i> _____  <b>Núm. de WPS del fabricante:</b> <i>Manufacturer's WPS no.:</i> _____  <b>Fabricante:</b> <i>Manufacturer:</i> _____  <b>Nombre del soldador/operador de soldo:</b> <i>Welder's/operator's name:</i> _____  <b>Tipo de unión y de soldadura:</b> <i>Joint type and weld:</i> _____	<b>Organismo examinador:</b> <i>Examining body:</i> <b>Institut Tècnic Català de la Soldadura</b> <b>Método de preparación y limpieza:</b> <i>Method of preparation and cleaning:</i> _____  <b>Especificación del material base:</b> <i>Parent material specification:</i> _____  <b>Espesor del material (mm):</b> <i>Material thickness (mm):</i> _____  <b>Diámetro exterior del tubo (mm):</b> <i>Outside pipe diameter (mm):</i> _____  <b>Posición de soldo:</b> <i>Welding position:</i> _____								
<b>Detalles de la preparación de la soldadura (croquis) Weld preparation details (sketch)</b>									
<b>Diseño de la unión Joint design</b>	<b>Secuencias de soldo Welding sequences</b>								
<b>Detalles de soldo Welding details</b>									
Pasada <i>Run</i>	Proceso de soldo <i>Welding process</i>	Tamaño del metal de aporte <i>Size of filler metal</i>	Intensidad <i>Current</i>	Voltaje <i>Voltage</i>	Tipo de corriente/ Polaridad <i>Type of current/ Polarity</i>	Velocidad de alimentación del alambre <i>Wire feed speed</i>	Velocidad de soldo <i>Travel speed</i>	Aporte térmico <i>Heat input</i>	Modo de transferencia <i>Metal transfer</i>
			(A)	(V)		(m/min)	(mm/s)	(kJ/mm)	
<b>Designación y marca del material de aporte:</b> <i>Filler material designation and make:</i> _____  <b>Condiciones de calentamiento o secado especiales:</b> <i>Any special baking or drying:</i> _____  <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <b>Gas/fundente:</b>  <i>Gas/flux:</i> _____   <b>Caudal del gas (L/min):</b>  <i>Gas flow rate (L/min):</i> _____   <b>Tipo/dimensión del electrodo de wolframio:</b>  <i>Tungsten electrode Type/Size:</i> _____   <b>Detalles del resanado/respaldo:</b>  <i>Details of back gouging/backing:</i> _____   <b>Temperatura de precalentamiento (°C):</b>  <i>Preheat temperature (°C):</i> _____   <b>Temperatura entre pasadas (°C):</b>  <i>Interpass temperature (°C):</i> _____   <b>Post calentamiento:</b>  <i>Post-heating:</i> _____   <b>Tratamiento térmico posterior al soldo (tiempo, temperatura, método; velocidades de calentamiento y enfriamiento):</b>  <i>Post-weld heat treatment (time, temperature, method; heating and cooling rates):</i> _____                      _____                      _____                 </div> <div style="width: 45%;"> <b>Otra información:</b>  <i>Other information:</i> _____   <b>Oscilación (ancho máximo de la pasada):</b>  <i>Weaving (maximum width of run):</i> _____   <b>Oscilación: amplitud, frecuencia, tiempo de parada:</b>  <i>Oscillation: amplitude, frequency, dwell time:</i> _____   <b>Detalles de soldo pulso:</b>  <i>Pulse welding details:</i> _____   <b>Distancia del tubo de contacto a la pieza:</b>  <i>Distance contact tube/work piece:</i> _____   <b>Detalles del soldo por arco-plasma:</b>  <i>Plasma welding details:</i> _____   <b>Ángulo de la pistola:</b>  <i>Torch angle:</i> _____                 </div> </div>									

Figura 70. WPQR 3 [25]



<b>WPQR nº</b>	<b>CUALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDEO</b> <i>WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD</i>						
<b>UNE-EN ISO 15614-1:2018</b>							
<b>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS / TEST RESULTS</b>							
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <b>Examen visual (EN ISO 17637):</b>  <i>Visual examination (EN ISO 17637):</i> _____             </div> <div style="width: 30%; text-align: center;"> <b>Acceptable</b>                  _____             </div> <div style="width: 30%;"> <b>Radiografía (EN ISO 17636):</b>  <i>Radiographic test (EN ISO 17636):</i> _____             </div> </div>							
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <b>Líquidos penetrantes (EN ISO 3452-1):</b>  <i>Penetrant test (EN ISO 3452-1):</i> _____             </div> <div style="width: 30%; text-align: center;"> <b>Ultrasonidos (EN ISO 17640):</b>  <i>Ultrasonic test (EN ISO 17640):</i> _____             </div> <div style="width: 30%;"></div> </div>							
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <b>Partículas magnéticas (EN ISO 17638):</b>  <i>Magnetic particles test (EN ISO 17638):</i> _____             </div> <div style="width: 30%; text-align: center;"> <b>Temperatura del ensayo (°C):</b>  <i>Test temperature (°C):</i> _____             </div> <div style="width: 30%;"></div> </div>							
<b>Ensayos de tracción (EN ISO 4136) / Tensile tests (EN ISO 4136):</b>							
Nº Ensayo <i>Test N°</i>	Probeta a*b/D (mm) <i>Test piece a*b/D (mm)</i>	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%)	Z (%)	Situación de la rotura <i>Fracture location</i>	Observaciones <i>Remarks</i>
<b>REQUISITOS / REQUIREMENTS</b>							
<b>Ensayos de doblado (EN ISO 5173) / Bend tests (EN ISO 5173):</b>							
<b>Diámetro del mandril (mm):</b> <i>Former diameter (mm):</i> _____							
<b>Examen macroscópico (EN ISO 17639):</b> <i>Macroscopic examination (EN ISO 17639):</i>							
Nº Ensayo <i>Test N°</i>	Probeta (a*b/D) (mm) <i>Test piece (a*b/D) (mm)</i>	Ángulo de doblado <i>Bending angle</i>	Alargamiento <i>Elongation</i>	Resultados <i>Results</i>	<b>Macrofotografía / Macro photograph</b> <div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div>		
<b>Ensayos de impacto (EN ISO 9016) / Impact test (EN ISO 9016):</b>							
<b>Tipo:</b> <i>Type:</i> _____				<b>Tamaño:</b> <i>Size:</i> _____			
Localización de la entalla/Dirección <i>Notch location / Direction</i>	Temperatura (°C) <i>Temperature (°C)</i>	Valores (J) <i>Values (J)</i>			Promedio (J) <i>Average (J)</i>	Observaciones <i>Remarks</i>	
		1	2	3			
<b>REQUISITOS / REQUIREMENTS</b>							
<b>Ensayo de dureza (EN ISO 9015) / Hardness test (EN ISO 9015):</b>							
<b>Tipo/Carga:</b> <i>Type/Load:</i> _____							
<b>Metal base:</b> <i>Parent metal:</i> _____							
<b>ZAT:</b> <i>HAZ:</i> _____							
<b>Metal de soldadura:</b> <i>Weld metal:</i> _____							
<b>Localización de las medidas / Location of measurements</b>							

Figura 71. WPQR 4 [25]

WPQR nº	CUALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDEO WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD	
	UNE-EN ISO 15614-1:2018	
<p>Otros ensayos: <i>Other tests:</i> _____</p>		
<p>Observaciones: <i>Remarks:</i> _____</p>		
<p>Ensayos llevados a cabo de acuerdo con los requisitos de: <i>Tests carried out in accordance with the requirements of:</i> _____</p>		
<p>Nº de referencia de los informes de ensayo: <i>Tests reports reference no.:</i> _____</p>		
<p>Los resultados de ensayo fueron: <i>Tests results were:</i></p> <div><input checked="checked" type="checkbox"/> <b>Acceptables</b> <i>Acceptable</i></div> <div><input type="checkbox"/> <b>No aceptables</b> <i>Not acceptable</i></div>		
<p>Ensayos llevados a cabo en presencia de: <i>Tests carried in the presence of:</i> _____</p>		
<p>Fabricante: <i>Manufacturer:</i> _____</p>		
<p>Organismo examinador: <i>Examining body:</i></p> <div><b>institut tècnic català de la soldadura</b> <a href="http://itcsoldadura.org">itcsoldadura.org</a></div> <div></div>		
<div>5 de 5</div>		

Figura 72. WPQR 5 [25]

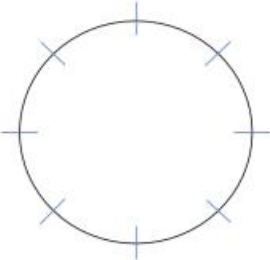
<b>WPQR n°</b>	<b>CUALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDEO</b> <i>WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD</i>	
	<b>ANEXO</b> <i>ANNEX</i>	

**POSICIONES DE CONTROL DEL EQUIPO**  
*DEVICE CONTROL POSITIONS*

**Identificación del equipo:**  
*Device identification:* \_\_\_\_\_

**Procesos 111 y 141 / Processes 111 and 141**

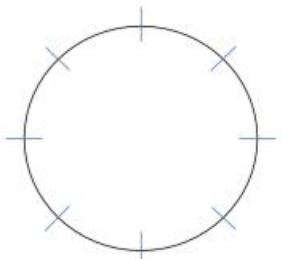

**POSICIÓN DE CONTROL DE INTENSIDAD**  
*INTENSITY CONTROL POSITION*

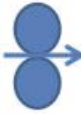


**Tipo de corriente:**  
*Current type:* \_\_\_\_\_

**Polaridad:**  
*Polarity:* \_\_\_\_\_

**Procesos 131, 135, 136 y 137 / Processes 131, 135, 136 and 137**





**Intensidad**  
*Intensity*

**Voltage**  
*Voltage*

Anexo

Figura 73. WPQR 6 [25]

## 7.9 Cualificación de soldadores

Los soldadores se cualifican bajo varias Normas, la Norma UNE-EN 287-1 (2004) para Aceros, la UNE-EN ISO 9606-2: Aluminio y sus aleaciones, UNE-EN ISO 9606-3: Cobre y sus aleaciones y la UNE-EN ISO 9606-4: Níquel y sus aleaciones y la UNE-EN ISO 9606-1:2017, cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros. (ISO 9606-1:2012 incluido Cor 1:2012 y Cor 2:2013).

La cualificación de un soldador es la comprobación por medio de la soldadura de un cupón de prueba de su habilidad para efectuar el trabajo asignado.

Los soldadores se cualifican con procedimientos determinados propiedad de la empresa, sus cualificaciones no serán aptas para para otros procedimientos de soldadura donde las variables esenciales no sean las mismas, así que deberá cualificarse para cada proceso.

El soldador puede obtener cualificaciones en distintas posiciones, para cada una deberá cualificarse. Cuando el soldador se cualifica para una posición determinada, automáticamente queda cualificado para las de menor dificultad de soldeo, en las distintas normas existen cuadros de guía en las posiciones de soldeo.

La cualificación de un soldador tiene una duración de dos años siempre que haya sido validada cada seis meses por la empresa conforme el operario ha ejecutado perfectamente las soldaduras con la oportuna documentación acreditativa y como mínimo con ensayos destructivos o no destructivos cada seis meses, en caso contrario deberá efectuar el soldeo de un cupón de prueba para su nueva cualificación.

A continuación, veremos un ejemplo de WPQ:


<b>WPQ n°</b>	<b>CERTIFICAT D'ASSAIG DE QUALIFICACIÓ DEL SOLDADOR</b> <b>CERTIFICADO DE ENSAYO DE CUALIFICACIÓN DEL SOLDADOR</b> <b>WELDER'S QUALIFICATION TEST CERTIFICATE</b> <b>UNE-EN ISO 9606-1:2017</b>	 <b>institut tècnic català de la soldadura</b>
<b>DESIGNACIÓ(ES):</b> DESIGNATION(ES) / DESIGNATION(S):		
<b>Referència:</b> Referencia / Reference:	<b>Organisme examinador:</b> Organismo examinador / Examining body:	<b>INSTITUT TÈCNIC CATALÀ DE LA SOLDADURA</b>
<b>Nom del soldador:</b> Nombre del soldador / Welder's name:	<b>Identificació:</b> Identificación / Identification:	<b>ÚLTIMOS CUATRO DÍGITOS DEL DNI o NIE INCLUIDA LA LETRA</b>
<b>Data i lloc de mixament:</b> Fecha y lugar de sacramento / Date and place of birth:	<b>Mètode d'identificació:</b> Método de identificación / Method of identification:	
<b>Empresa:</b> Empresa / Employer:		
<b>AVALUACIÓ DE CONEIXEMENTS / EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS / JOB KNOWLEDGE:</b>		
Acceptable: <input type="checkbox"/> No examinat: <input checked="" type="checkbox"/>		
fotografia fotografía photograph		
<b>VARIABLE</b> VARIABLE / VARIABLE	<b>CUPÓ D'ASSAIG</b> CUPÓN DE ENSAYO / TEST PIECE	<b>RANG DE QUALIFICACIÓ</b> RANGO DE CUALIFICACIÓN / RANGE OF QUALIFICATION
<b>Procés(s) de soldadura</b> Proceso(s) de soldadura / Welding process(es)	<b>EN ISO 4063</b>	
<b>Mode de transferència</b> Modo de transferencia / Transfer mode		
<b>Tipus de producte</b> Tipo de producto / Product type		
<b>Tipus de soldadura</b> Tipo de soldadura / Type of weld		
<b>Grup(s) i subgrup(s) de metall base</b> Grupo(s) y subgrupo(s) de metal base / Parent metal group(s) and subgroup(s)	<b>CEN ISO/TR 15608</b>	<b>1 a 11</b>
<b>Grup(s) de metall d'aportació</b> Grupo(s) de material de aportación / Filler material group(s)		
<b>Metall d'aportació (Designació)</b> Material de aportación (Designación) / Filler material (Designation)		
<b>Gas de protecció</b> Gas de protección / Shielding gas	<b>EN ISO 14175</b>	<b>N/A</b>
<b>Elements auxiliars</b> Elementos auxiliares / Auxiliaries		
<b>Tipus de corrent i polaritat</b> Tipo de corriente y polaridad / Type of current and polarity		<b>N/A</b>
<b>Gruix del metall base</b> Espesor del material / Metal thickness	<b>t (mm)</b>	
<b>Gruix dipositat</b> Espesor depositado / Deposit thickness	<b>s (mm)</b>	
<b>Diàmetre exterior del tub</b> Diámetro exterior del tubo / Outside pipe diameter	<b>D (mm)</b>	
<b>Posició de soldadura</b> Posición de soldadura / Welding position	<b>EN ISO 6947</b>	
<b>Detalls de la soldadura</b> Detalles de soldadura / Weld details		
<b>Capa múltiple/capa única</b> Capa múltiple/capa única / Multi-layer/single layer		
<b>Assaig suplementari de soldadura en angle (executat conjuntament amb una qualificació de soldadura a topar):</b> Ensayo suplementario de soldadura en ángulo (completado conjuntamente con una cualificación de soldadura a tope) / Supplementary fillet weld test (completed in conjunction with a butt weld qualification):		
Acceptable: <input type="checkbox"/> No acceptable: <input type="checkbox"/>		
<b>Observacions:</b> Para aclaración de los acrónimos utilizados en el apartado anterior consulte la sección "Cualificación/Glosario Técnico" en nuestra página web <a href="http://www.itsoldadura.org">http://www.itsoldadura.org</a>		
<b>TIPUS D'ASSAIG</b> TIPO DE ENSAYOS / TYPE OF TEST	<b>Assajat i acceptat</b> Realizado y aceptado / Performed and accepted	<b>No assajat</b> No ensayado / Not tested
<b>Examen visual</b> Inspección visual / Visual testing		
<b>Assaig radiogràfic</b> Examen radiográfico / Radiographic testing		
<b>Assaig de fractura</b> Ensayo de rotura / Fracture test		
<b>Assaig de plegat</b> Ensayo de doblado / Bend test		
<b>Examen macroscòpic</b> Examen macroscópico / Macroscopic examination		
<b>INSTITUT TÈCNIC CATALÀ DE LA SOLDADURA</b> <b>Nom i Cognoms del Tècnic qualificador</b>		
<b>Lloc i data de la soldadura:</b> Lugar y fecha de soldadura / Weld date and place:		
<b>Lloc i data d'emissió:</b> Lugar y fecha de emisión / Place and date of issue:		
<b>Revalidació 9.3.a</b> Revalidación 9.3.a Revalidación 9.3.a	<b>Vàlid fins a</b> Válido hasta Valid until	<b>Revalidació 9.3.b</b> Revalidación 9.3.b Revalidación 9.3.b
<b>Revalidació 9.3.c</b> Revalidación 9.3.c Revalidación 9.3.c	<b>Vàlid fins a</b> Válido hasta Valid until	
<b>Revalidació de la qualificació per la persona o organisme examinador pels propers 2 anys (9.3.b) / Revalidación de la cualificación por persona o organismo examinador para los siguientes 2 años (9.3.b) / Revalidation for qualification by examiner or examining body for the following 2 years (9.3.b):</b>		
<b>Data / Fecha / Date</b>	<b>Signatura / Firma / Signature</b>	<b>Càrrec o posició / Cargo o posición / Position or title</b>
<b>Confirmació de la validesa per l'empresa/coordinador de soldadura/persona o organisme examinador pels 6 mesos següents (9.2) / Confirmación de la validez por la empresa/coordinador de soldadura/persona o organismo examinador para los 6 meses siguientes (9.2) / Confirmation of the validity by employer/welding coordinator/examiner or examining body for the following 6 months (9.2):</b>		
<b>Data / Fecha / Date</b>	<b>Signatura / Firma / Signature</b>	<b>Càrrec o posició / Cargo o posición / Position or title</b>
RQFS-001 Rev 11 (30-11-2017) Registre de qualificació de soldadors. Norma Europea. Soldadura per fusió. Acer		

Figura 74. Ejemplo WPQ 1 [25]



[illegible]

**Figura 75. Anexo WPQ [25]**

RICSON S.A.		PROCEDIMIENTO DE CUALIFICACIÓN DE SOLDADORES		Página 1 de 2
		UNE-EN 287-1(2004)		
RESUMEN DE LA CUALIFICACIÓN DEL SOLDADOR:				
		UNE-EN : 287-1 141 P BW 23 13 S PA nb sl ss		
FABRICANTE:		LUGAR:		
PERSONA U ORGANISMO EXAMINADOR:		FECHA:		
WOPQ N°:	348	N° DE REFERENCIA DE LA WPS:		116/07
NOMBRE DEL SOLDADOR:				
FECHA Y LUGAR DE NACIMIENTO:				
NUMERO DE SOLDADOR:				
EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS:		No realizada		
ACEPTABLE:		NO EXAMINADO: X		
VARIABLES PARA EL PROCESO UTILIZADO				
	VALORES REALES CUPÓN DE ENSAYO	RANGO CUALIFICADO		
PROCESO DE SOLDEO: (EN-ISO 4063)	141			
TIPO DE PRODUCTO: (CHAPA "P" O TUBO "T")	P			
TIPO DE SOLDADURA: (TOPE "BW" o ANGULO "FW")	BW	BW y FW		
GRUPO(s) DE METAL BASE: (Apartado 5.5)	23	21, 22, 23		
ESPESOR DEL MATERIAL: (t en mm)	t = 3 mm	1,5 a 6 mm		
DIÁMETRO EXTERIOR DEL TUBO: (D en mm)				
CONSUMIBLES (DESIGNACIÓN): (Apartado 5.6)	S	S		
POSICIÓN DE SOLDEO: (EN-ISO 6947)	PA	PA y PB		
ELEMENTOS AUXILIARES: (Como gas de respaldo)				
DETALLES DE LA SOLDADURA: (Apartado 5.9)	nb, sl, ss	ss, nb, mb, bs, sl		
GAS DE PROTECCIÓN: (EN 439)	11			

Nota: Las indicaciones de Apartados son referencias de la Norma UNE-EN 287-1

Figura 76. Ejemplo WOPQ[28]

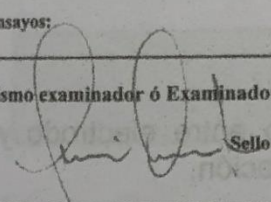

WOPQ N°:	348	Pagina 2 de 2																									
<b>RESULTADO DE LOS ENSAYOS</b>																											
Inspección Visual:	SATISFACTORIA																										
Laboratorio que ha realizado los ensayos:	Realizado por :																										
	N° de Referencia: 19095.07																										
Líquidos penetrantes:	Partículas Magnéticas:																										
Radiografía:	Ultrasonidos:																										
Ensayos de doblado:	Diámetro del mandril: 12 - 4	Distancia Rodillos mm: 22																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Ensayo N°</th> <th>Probeta axb /D mm</th> <th>Posición</th> <th>Angulo de doblado</th> <th>Resultados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,1</td> <td>30X3</td> <td>CARA</td> <td>180</td> <td>BIEN</td> </tr> <tr> <td>2,2</td> <td>30X3</td> <td>RAIZ</td> <td>180</td> <td>BIEN</td> </tr> <tr> <td>2,3</td> <td>30X3</td> <td>CARA</td> <td>180</td> <td>BIEN</td> </tr> <tr> <td>2,4</td> <td>30X3</td> <td>RAIZ</td> <td>180</td> <td>BIEN</td> </tr> </tbody> </table>			Ensayo N°	Probeta axb /D mm	Posición	Angulo de doblado	Resultados	2,1	30X3	CARA	180	BIEN	2,2	30X3	RAIZ	180	BIEN	2,3	30X3	CARA	180	BIEN	2,4	30X3	RAIZ	180	BIEN
Ensayo N°	Probeta axb /D mm	Posición	Angulo de doblado	Resultados																							
2,1	30X3	CARA	180	BIEN																							
2,2	30X3	RAIZ	180	BIEN																							
2,3	30X3	CARA	180	BIEN																							
2,4	30X3	RAIZ	180	BIEN																							
Examen microscópico:		Examen micrográfico:																									
Ensayo de dureza (Tipo /Carga):		Localización de la media:																									
Ensayo de Rotura:																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Probeta</th> <th>Posición</th> <th>Denominación</th> <th>Resultado</th> <th>Nivel de calidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			Probeta	Posición	Denominación	Resultado	Nivel de calidad																				
Probeta	Posición	Denominación	Resultado	Nivel de calidad																							
Otros ensayos:																											
Organismo examinador ó Examinador:																											
Firma		<div style="text-align: center;">  </div>																									
	Sello	Fecha: 22/11/2007																									
Confirmación de la validez por la empresa/coordinador de soldo para los 6 meses siguientes (Apartado 9.2)																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Fecha</th> <th>Firma</th> <th>Cargo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			Fecha	Firma	Cargo																						
Fecha	Firma	Cargo																									
Renovación de la calificación por la persona u organismo examinador para los dos años siguientes (Apartado 9.3)																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Fecha</th> <th>Firma</th> <th>Cargo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			Fecha	Firma	Cargo																						
Fecha	Firma	Cargo																									

Figura 77. WOPQ 2 [28]



## 7.10 Coordinadores, operadores e inspectores

### ¿Qué es el coordinador de soldeo?

Se trata del máximo responsable de todas las decisiones sobre soldeo en la empresa, como por ejemplo: definición de los métodos aplicables en cada caso, selección de proveedores de consumibles o subcontratistas, realización del plan de inspección, formación de los operarios de soldadura, inspectores etc., en definitiva de todas las tareas definidas en el Anexo B de la norma UNE–EN ISO14731.

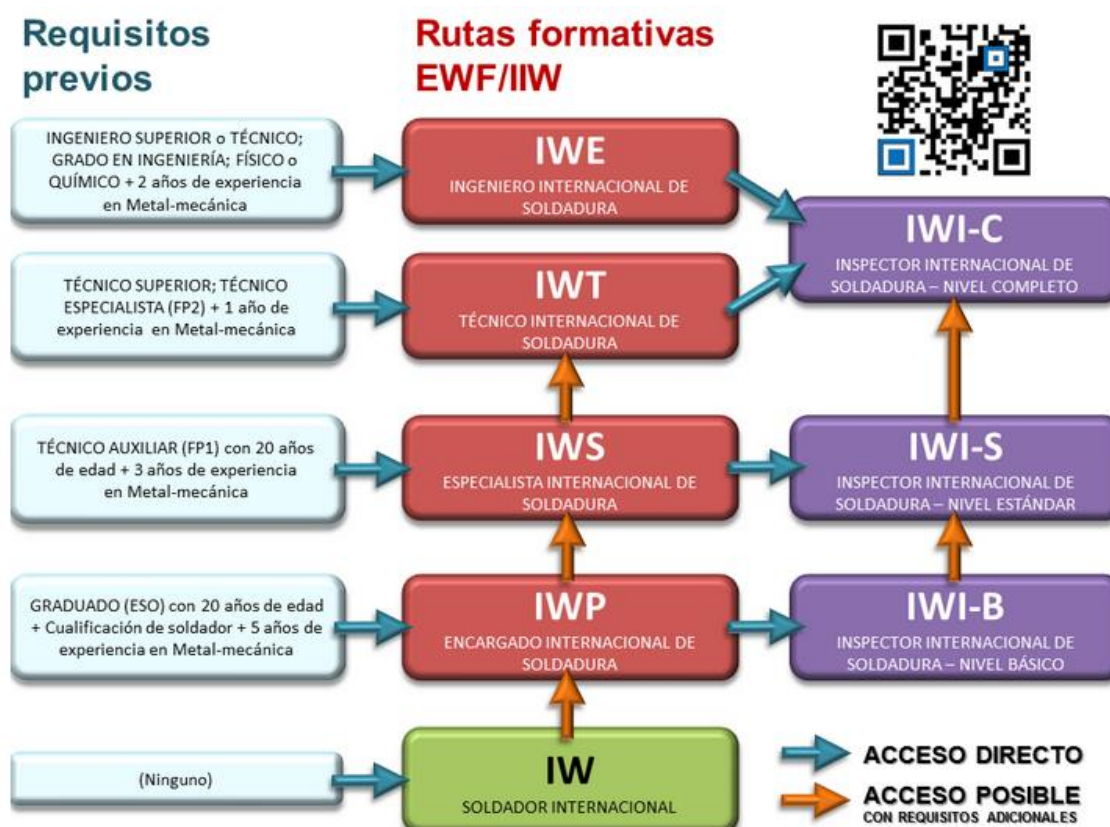


Figura 78. Coordinador de soldeo [12]

### 7.10.1 Inspectores de construcciones soldadas

Los requisitos están regulados por la norma UNE 14618, esta norma específica que el candidato a la certificación deberá realizar una formación específica, cuya duración dependerá del nivel de certificación.

	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 2 (desde nivel 1)	Nivel 3	Nivel 3 (desde nivel 2)
Horas	40	60	60	80	20

Figura 79. Niveles - Horas [7]

El candidato deberá aportar evidencias documentales de haber completado la formación mínima adecuada exigida.

Los conocimientos técnicos que debe adquirir el candidato a la certificación como inspector de construcciones soldadas se centran en los siguientes puntos:

- Personal relacionado en el soldeo.
- Física de los materiales
  - Propiedades de los metales
  - Metalurgia básica
  - Tratamientos térmicos
  - Mecanismos de agrietamiento
  - Metalurgia específica
- Procesos de soldeo y corte
- Inspección y ensayos
  - Inspección visual
  - Métodos de inspección y ensayo no destructivos.
  - Ensayos químicos y mecánicos.
- Defectología de las uniones soldadas
- Control de calidad
  - Generalidades
  - Control de materiales consumibles
  - Mantenimiento y control de equipos auxiliares
  - Control durante la producción
  - Procedimiento de soldeo
  - Medición y controles específicos
  - Soldadores y operadores de soldeo
  - Personal de ensayos no destructivos.
- Seguridad e higiene
- Códigos, normas y especificaciones.
- Supervisión (para los niveles 2 y 3)

Además de los requisitos formativos, la norma también especifica que otros requisitos, en cuanto a experiencia y requisitos físicos, debe cumplir el candidato.

### 7.10.2 Experiencia laboral (en meses)

El candidato deberá aportar un certificado original de experiencia laboral en el mundo del soldeo e inspección.

El tiempo a justificar viene determinado en la siguiente tabla:

TITULACIÓN ACADÉMICA	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 2 (desde nivel 1)	Nivel 3	Nivel 3 (desde nivel 2)
Personas sin titulación académica en el sector metal	6	12	6	X	48
Personas con titulación académica básica en el sector metal	4	10	6	X	36
Personas con titulación académica media en el sector metal	3	9	6	24	15
Personas con titulación académica completa en el sector metal	1	3	2	15	12
<p>NOTA 1: Se considera una titulación académica:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Básica. Equivalente a FP1, técnico auxiliar, técnico, o EQF nivel 3, en especialidades relacionadas con el metal.</li> <li>• Media. Equivalente a FP2, técnico especialista, técnico, o EQF nivel 4, en especialidades relacionadas con el metal.</li> <li>• Completa. Equivalente al grado, ingeniero, licenciado, diplomado o EQF nivel 5, en especialidades relacionadas con el metal.</li> </ul> <p>NOTA 2: No se permite acceder del nivel 1 al 3. El candidato que siendo ICS de nivel 1 quiera certificarse como ICS de nivel 3, debe considerarse como un candidato que accediera directamente al nivel 3.</p> <p>NOTA 3: A efectos de justificación de la experiencia profesional, el candidato no debe haber estado inactivo durante un periodo de tiempo superior a 3 años antes de la fecha del examen.</p>					

Figura 80. Requisitos tiempo según titulación [29]

### 7.10.3 Requisitos físicos: Agudeza visual

El candidato debe aportar evidencia de una visión satisfactoria, determinada por un oculista, oftalmólogo u otra persona medicamente autorizada.

### 7.10.4 Tareas y responsabilidades del Inspector de Construcciones Soldadas

#### ICS nivel 1:

- Verificar que la identificación, almacenamiento, trazabilidad y manejo de los consumibles de soldeo está de acuerdo con las especificaciones internas de la empresa y con las recomendaciones del fabricante del consumible.
- Verificar que la identificación, almacenamiento y trazabilidad de los materiales base es adecuada con la naturaleza del material, código, norma o especificación que sea de aplicación. Se debe prestar especial atención a la transferencia de marcas de identificación.
- Verificar que las certificaciones de los soldadores y operadores de soldeo son adecuadas a los requisitos de la construcción soldada y se han realizado conforme al código, norma o especificación pertinente.
- Verificar que el armado, dimensiones y preparaciones de bordes están de acuerdo con la especificación del procedimiento de soldeo, WPS, planos de montaje y/o documentos específicos que sean aplicables.

- e) Verificar que los equipos, instalaciones y herramientas son adecuados a la naturaleza de los materiales base y de los consumibles. Se debe prestar especial atención al mantenimiento de los equipos.
- f) Verificar que se utilizan correctamente las especificaciones de los procedimientos de soldeo y/o reparación, WPS, que sean aplicables. Se debe prestar especial atención al control de los parámetros, temperatura de precalentamiento y temperatura entre pasadas.
- g) Verificar que la construcción soldada se adecúa a las especificaciones: materiales, dimensiones, planos, etc.
- h) Realizar la inspección dimensional o visual de la estructura y de las soldaduras, registrando las desviaciones e imperfecciones detectadas.
- i) Verificar que se satisfacen las especificaciones o procedimientos internos de que disponga la empresa y que sean de aplicación.
- j) Preparar informes de inspección, en los cuales queden registradas las actividades relativas a las tareas antes mencionadas de acuerdo con sus funciones.

#### **ICS nivel 2:**

- a) Realizar las funciones correspondientes de los inspectores UNE 14618:2017 – 12.
- b) Entrenar, instruir y supervisar el trabajo realizado por los inspectores de soldadura de nivel 1.
- c) Verificar, cuando sea requerido, que las WPS se corresponden con los registros de cualificación de los procedimientos de soldeo, WPQR, y que las cualificaciones se han realizado por las entidades apropiadas.
- d) Cualificar los soldadores, los operadores de soldeo y los procedimientos de soldeo empleados en producción y/o reparación, de acuerdo con las normas aplicables.
- e) Analizar e interpretar los requisitos de inspección de los documentos aplicables.
- f) Verificar que durante la fabricación se cumplen todos los procedimientos de control de calidad relativos a la soldadura.
- g) Asegurar que los ensayos de producción requeridos son representativos, así como evaluar sus resultados.
- h) Verificar la aplicación de procedimientos especiales, cuando así se requiera, por ejemplo, cordones de revenido.
- i) Verificar que la cualificación del personal de END es adecuada a los requisitos de inspección. Esto debe realizarse tanto para los ensayos de producción como para los END que acreditan las cualificaciones de los soldadores, operadores de soldeo y procedimientos de soldeo, cuando sea aplicable.
- j) Verificar que cualquier tratamiento térmico posterior a la soldadura, enderezado térmico o mecánico, se efectúa de acuerdo con los requisitos de la especificación aplicable.
- k) Verificar que los ensayos globales, END, controles dimensionales e inspecciones de los conjuntos soldados, se han efectuado y evaluado de acuerdo con los requisitos aplicables.
- l) Garantizar que todos los documentos requeridos, relacionados con la soldadura, se mantienen archivados adecuadamente.
- m) Preparar informes de inspección, en los cuales queden registradas las actividades relativas a las tareas antes mencionadas de acuerdo con sus funciones.

#### **ICS nivel 3:**

- a) Realizar las funciones correspondientes a los inspectores de soldadura de nivel 1 y 2.

- b) Entrenar, instruir y supervisar el trabajo realizado por los inspectores de soldadura de nivel 1 y 2.
- c) Examinar los planos y documentos de fabricación con el fin de juzgar su conformidad con los documentos del contrato (reglas, códigos, condiciones, normas, especificaciones, etc.) en lo que se refiere a posición, diseño y dimensiones de los conjuntos soldados.
- d) Preparar o evaluar los planes de inspección y los procedimientos en ellos relacionados. DOCUMENTO DE TRABAJO CTN 14 - 13 - UNE 14618:2017 e) Evaluar los procedimientos de control de calidad relacionados con el soldeo.
- e) Redactar, si los documentos aplicables son insuficientes, todas las propuestas necesarias de acuerdo con los criterios de calidad generales del proyecto.
- f) Supervisar los informes de inspección y END sobre soldadura, para mantener o mejorar el nivel de calidad.
- g) Analizar los factores que influyen sobre la aparición de imperfecciones en soldaduras.
- h) Evaluar las no conformidades y dirigir investigaciones, después de que se produzcan incidentes importantes durante la fabricación o construcción.
- i) Administrar y registrar los ensayos globales, END, controles dimensionales e inspecciones relativas al proyecto.
- j) Emitir declaraciones de conformidad con documentos aplicables.
- k) Preparar informes de inspección, en los cuales queden registradas las actividades relativas a las tareas antes mencionadas de acuerdo con sus funciones.

#### 7.10.5 Examen de cualificación

El examen constara de distintas partes, y su duración dependerá del nivel sobre el que se quiera obtener la certificación, tal y como se describe en la siguiente tabla:

	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Parte A: Examen de conocimiento teórico	40 minutos	60 minutos	90 minutos
Parte B: Examen de conocimientos prácticos	40 minutos	40 minutos	60 minutos
Parte C: Examen de conocimientos prácticos		150 minutos	150 minutos
	No se permite el uso de documentación		
	Se permite el uso de documentación		

**Figura 81. Examen cualificación [29]**

El tipo de examen a realizar dependerá del organismo examinador, los tipos de examen quedan descritos en la sub-clausula 7.4.1 de la Norma UNE 14618:2017.



- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>a. Preguntas tipo test, cuatro opciones y respuesta única → 1 min/pregunta.</li><li>b. Preguntas tipo test, cuatro opciones y respuesta múltiple → 1,5 min/pregunta.</li><li>c. Preguntas cortas de desarrollo (5-6 líneas) → 5 min/pregunta.</li><li>d. Pregunta de desarrollo (respuesta en una cara) → 20 min/pregunta.</li><li>e. Ejercicio práctico, solamente aplicable para la parte C.</li></ul> |
|--|

**Figura 82. Tipos examen [29]**

El candidato deberá obtener una calificación de 70% sobre la máxima nota posible, en cada una de las partes para poder obtener su certificación.

#### **7.10.6 Validez y renovación**

Una vez el candidato ha cumplido todos los requisitos especificados en la Norma (experiencia, requisitos físicos, formación, examen, etc.) obtendrá su certificación, la cual tiene una validez de tres años, desde el momento en que el Organismo de Certificación verifica el cumplimiento de todos los requisitos.

La renovación trianual del certificado será posible, siempre y cuando el Inspector evidencie que:

- Continúa cumpliendo con los requisitos de agudeza visual.
- No existe ninguna razón que obligue a la extinción del certificado.
- Continúa ejerciendo sus funciones como ICS, en al menos, el 25% de su jornada laboral.

## Capítulo 8. Análisis de un caso práctico

En este apartado veremos varias aplicaciones de la soldadura por electrodo revestido en el sector naval, concretamente algunas reparaciones realizadas en los remolcadores de la empresa SAR en el puerto de Barcelona.

### 8.1 Soldadura bita para amarre

#### 8.1.1 Motivo

El remolcador Ramón Casas ya llevaba 15 años operando en el puerto de Barcelona, y lo destinaron al puerto de el Ferrol, en Galicia, donde por una normativa menos restrictiva puede seguir operando durante 5 años más.

Se decidió traer un buque más moderno, 5 años más joven al puerto de Barcelona desde Vigo, el buque remolcador Eliseo Vázquez.

Al llegar a la base de Remolcadores, siendo el muelle distinto al de Galicia, las bitas destinadas al amarre presentaban dos problemas:

1. El diámetro de la bita era insuficiente para soportar el buque amarrado sin deformarse.
2. El espacio libre entre la bita y el casco del buque era insuficiente para las amarras de que se disponen en la base de los remolcadores.

Todo ello se debe a que la maniobra de atraque en Vigo era distinta a la de Barcelona, por lo que hasta que el buque no llegó a puerto, no se podía establecer la ubicación correcta para las nuevas bitas, ni nos dimos cuenta del problema.

Las bitas que tenía el buque eran de un grosor bastante inferior a las que tienen los buques que operan en el puerto de Barcelona. Al ser distintos los puertos, también lo son los muelles y lugares de atraque de los buques, diferentes alturas, mareas, incluso el número de operaciones realizadas, por lo que cambia la frecuencia de atraque y desatraque.



Figura 83. Bita deformada (Fuente: Propia)



**Figura 84. Bita anterior (Fuente: Propia)**

Debemos tener en cuenta que las bitas están constantemente trabajando soportando grandes esfuerzos, ya que en los muelles operan un total de 7 remolcadores que están constantemente entrando y saliendo, moviendo el agua y generando oleaje. A esto debemos añadirle condiciones meteorológicas de viento.

A continuación, veremos una de las bitas deformada procedente de otro remolcador que fue sustituida por otra nueva de respeto.



**Figura 85. Bita deformada (Fuente: Propia)**

### 8.1.2 Solución

La solución en este caso fue soldar mediante el proceso de soldadura con electrodo revestido una nueva bita en una posición correcta para poder amarrar de forma sencilla el buque. Dicha bita ya estaba disponible en la base, ya que se tienen varias bitas de respeto.

La nueva bita, evidentemente ya estaba diseñada de tal forma que soportara los esfuerzos y apta para las amarras de atraque.

Lo primero fue decidir la ubicación de la nueva bita y preparar la superficie para poder soldarla. La superficie en este caso estaba pintada para proteger el casco de la corrosión. Para ello, mediante una orbital o amoladora, con un disco de milhojas, se pule toda la pintura hasta llegar al material base, ya que sobre pintura no se puede soldar. El día que se realizó la reparación, además llovía, por lo que se tuvo que montar un toldo previamente para poder soldar.



Figura 86. Amoladora (Fuente: Propia)

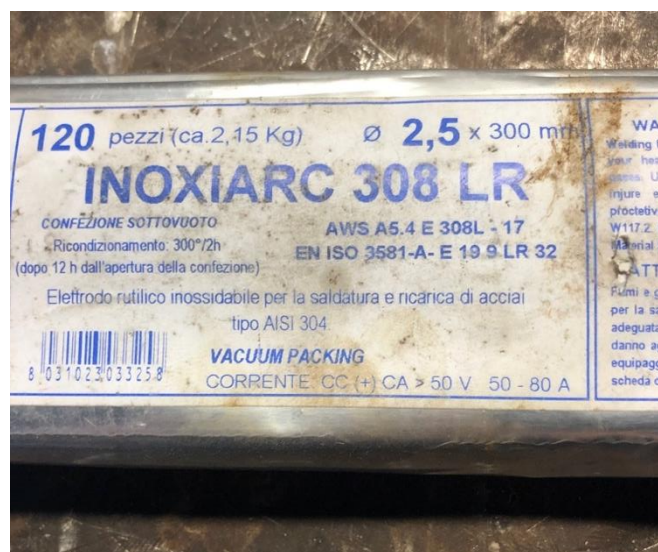


Figura 87. Disco milhojas (Fuente: Propia)

Una vez ambas superficies preparadas, tanto la superficie del buque como la bita, ya se puede iniciar la soldadura. En este caso fue una soldadura vertical descendente, mediante electrodo revestido.



**Figura 88 .Electrodo revestido (Fuente: Propia)**



**Figura 89. Electrodo AWS 5.4 (Fuente: Propia)**

En este caso se utilizó el electrodo de la imagen anterior, de mayor diámetro para poder utilizar mayor intensidad y penetrar más en el material.

A continuación, veremos imágenes del resultado final. El cordón de soldadura se ve ya pintado, ya que, al ser operaciones de soldadura de campo, en el exterior en ambiente salino, es de vital importancia proteger la zona enseguida para evitar la corrosión.

El tratamiento que se aplica son de 3 a 5 capas de imprimación y 2 o 3 capas de pintura, en este caso color blanco para mayor protección.





**Figura 90 .Nueva bita soldada (Fuente: Propia)**



**Figura 91. Bita con amarra (Fuente: Propia)**



**Figura 92. Vista bita y amarra (Fuente: Propia)**

En la foto anterior vemos la ubicación final de la bita con la amarra.

## **8.2 Soldadura de un soporte para cable conexión a tierra.**

En las maniobras de atraque y desatraque, los muelles disponen de torretas preparadas para poder conectar el buque a la red eléctrica terrestre, y no necesitar tener los motores auxiliares funcionando. La conexión a tierra es mediante un cable, el cual se tiene que recoger y adujar cada vez que el buque atraca y desatraca. Los remolcadores, y todos los buques en general, deben tener las cubiertas lo más limpias y libres de obstáculos posible.

### **8.2.1. Motivo**

El buque no tiene ningún elemento que permite adujar de forma sencilla el cable de conexión a tierra dejando la cubierta libre de obstáculos.

### **8.2.2. Solución**

Se decidió soldar mediante electrodo revestido, bajo la tapa de regala un pequeño soporte que permitiera adujar y estibar el cable de conexión a tierra. En este caso la operación fue mucho más sencilla que la anterior, ya que simplemente se dieron unos puntos de soldadura para aguantar el soporte, y más que suficientes para soportar el peso del cable.

Para ello se preparó la superficie, se lijo la pintura hasta llegar al material base y poder realizar la soldadura con electrodo revestido. También fue una operación en cubierta.



**Figura 93. Soporte cable conexión tierra (Fuente: Propia)**

En este caso, también se le aplicó imprimación y pintura para proteger la soldadura.

### **8.3 Soldadura bandeja recogida de líquidos**

En este caso, la reparación fue en sala de máquinas. El buque dispone de una tubería con embudo, para poder depositar las aguas grises, procedentes de la limpieza o recogida de residuos procedentes de fugas o averías.

Al tirar los fluidos y tratarse de una tubería de pequeño diámetro había reboses y salpicaduras.

#### **8.3.1. Motivo**

Evitar que dichos reboses y salpicaduras, volvieran a sentinas ensuciando de nuevo, y obligando a levantar chapas del suelo de la sala de máquinas para poder limpiarlos de nuevo.

#### **8.3.2. Solución**

Diseñar, construir y soldar electrodo revestido una bandeja para la recogida de fluidos. Teniendo dicha bandeja, se hace mucho más sencilla la recogida de dichos reboses y se evita su vuelta a sentinas.

Como en los casos anteriores, lo primero es la preparación de las superficies dejando ambas libres de pinturas y escorias.





**Figura 94. Bandeja recogida (Fuente: Propia)**

Se trata de una simple bandeja, soldada por dos puntos al mamparo. Un cordón de soldadura en la parte superior y otro más pequeño en el brazo inferior de soporte.



**Figura 95. Cordones soldadura parte superior bandeja (Fuente: Propia)**



**Figura 96. Soldadura soporte bandeja (Fuente: Propia)**

Una vez realizada la soldadura, se pintaron las superficies para protegerlas.

#### **8.4 Soportes para sujeción de la defensa**

Como en todos los buques, se realizan constantemente operaciones de mantenimiento, y en buques como los remolcadores, las zonas más perjudicadas son las defensas del buque. Esto se debe lógicamente, al constante desgaste que tienen, ya que es la parte que más sufre del buque. Se trata de la zona donde el remolcador se apoya en el buque mercante para poder empujar.

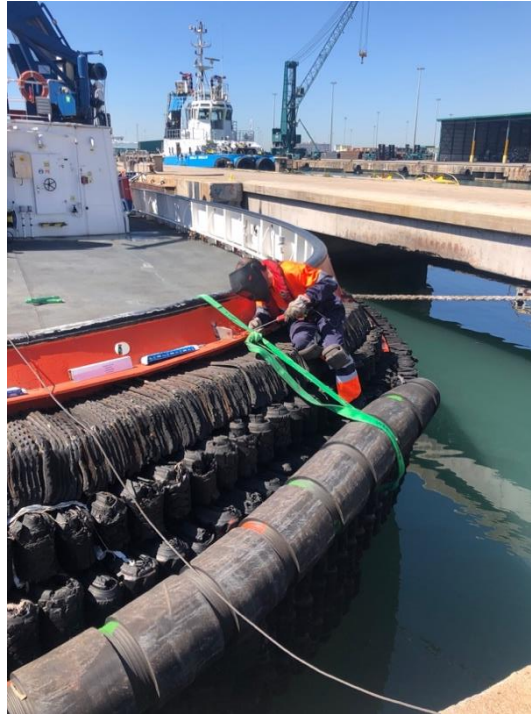


**Figura 97. Remolcador Salvador Dalí (Fuente: Propia)**

Una vez todos estos elementos tienen un cierto número de horas, se cambian por unos nuevos para evitar dañar los cascos de los buques por disponer de unas insuficientes defensas.

Una parte importante de las defensas, es una defensa cilíndrica que va instalado a popa del remolcador, de lado a lado, sujetado mediante unas cadenas. Estas cadenas también sufren corrosión y deben

cambiarse con cierta periodicidad. Las cadenas a su vez van sujetas a unos soportes soldados al casco del buque.



**Figura 98. Defensa nueva (Fuente: Propia)**

En este caso se trata de una operación de mantenimiento, que se debe hacer de forma periódica.

#### **8.4.1. Motivo**

El motivo es propio mantenimiento que debe de realizarse de forma periódica. La misma empresa obliga a realizar unas órdenes diarias de trabajo.

#### **8.4.2. Solución**

Retirada de los soportes antiguos y soldar nuevos soportes mediante electrodo revestido.

En este caso, lo primero fue presentar la defensa y sujetarla mediante bragas para determinar su posición final, y con ello poder marcar donde se tienen que soldar los soportes. Estos soportes de acero, son piezas de unos 2 centímetros de espesor con un taladro practicado en ellas, por donde haremos firmes las cadenas de sujeción de la defensa.

Lo importante es pulir bien la cara del soporte que va a estar en contacto con el casco del buque, y dejar limpios los dos laterales por donde se va a realizar el cordón de soldadura. Como en los otros casos, pulir también la zona del casco del buque dejándola libre de pinturas y escoria.

En este caso, cada soporte va a tener dos cordones de soldadura, uno por cada lado. Antes de hacer el cordón de soldadura, se dan dos o más puntos de soldadura para hacer firme el soporte. Estando el soporte en su posición y bien posicionado, ya se pueden realizar los cordones de soldadura.

En la siguiente imagen vemos al operario realizando el trabajo de soldeo de dichos soportes, manteniendo la defensa sujeta mediante bragas.



**Figura 99. Soldando soporte (Fuente: Propia)**

### **8.5 Sistema sujeción tapas ventilación**

En este caso se tenía que buscar algún sistema para la sujeción de las tapas de ventilación que quedan en cubierta. Dicho sistema de sujeción debía cumplir varios requisitos.

Las siguientes fotos hacen referencia a la construcción también mediante soldadura con electrodo revestido de las palometas que más adelante veremos su función de forma más clara. Básicamente son unas palometas de sujeción para las tapas de ventilación. Sujetan mediante presión, y esta presión la conseguimos ya que es un elemento roscado.



**Figura 100. Pieza 1 (Fuente: Propia)**





**Figura 101. Pieza 2 (Fuente: Propia)**



**Figura 102. Pieza 3 (Fuente: Propia)**



**Figura 103. Ambas piezas (Fuente: Propia)**



**Figura 104. Despiece (Fuente: Propia)**

### 8.5.1. Motivo

Las tapas de ventilación son unas tapas que encontramos en cubierta que protegen las salidas de ventilación procedentes de sala de máquinas.

Estas tapas de ventilación anteriores tenían un sistema de fijación mediante pasador, el problema es que la tapa quedaba a una altura insuficiente, ya que al pasar cerca de ellas era muy fácil golpearse en la cabeza, lo que hacía peligroso moverse por cubierta. Hay que tener en cuenta que en cubierta contra menos obstáculos tengamos mejor, ya que es muy sencillo tener un accidente.

### 8.5.2. Solución

Se diseñó un nuevo sistema de sujeción para conseguir dejar fijas las tapas de ventilación a una altura suficiente en la que no hubiera peligro de golpearse con ellas. Dicho sistema debe cumplir varios requisitos requeridos por capitania, uno de ellos y el más importante que debe poder zafarse de forma rápida y sencilla. De ahí que se decidiera un sistema de palometas roscado.

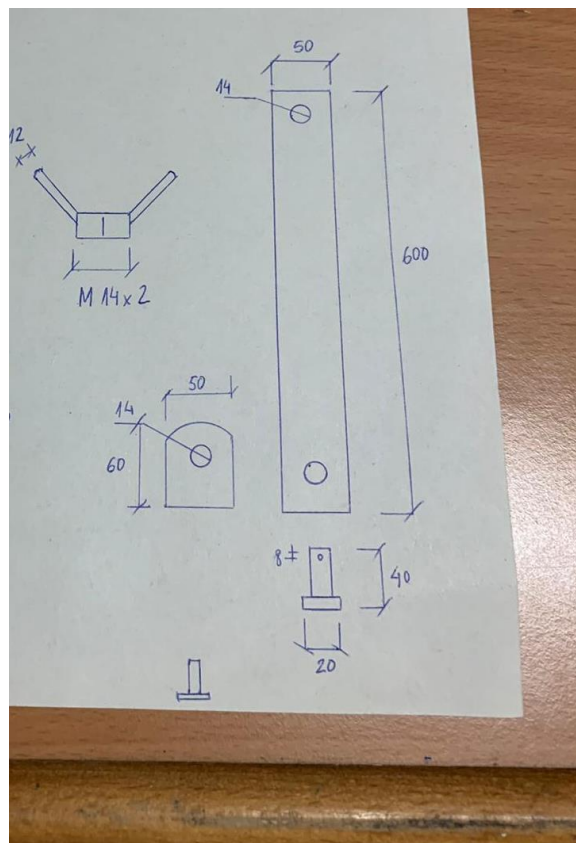


Figura 105. Diseño sistema sujeción (Fuente: propia)

En la foto anterior vemos sobre papel el diseño del sistema de sujeción propuesta para las tapas de ventilación. Palometas y la pletina, la pletina por uno de los extremos va unida con un pasador a un soporte que se soldó mediante electrodo revestido en el mamparo.





**Figura 106. Soporte pletina soldado a mamparo (Fuente: propia)**



**Figura 107 .Soportes tapa ventilación (Fuente: propia)**

En la foto anterior se puede apreciar el resultado final y funcionamiento del sistema diseñado para la sujeción de las tapas de ventilación.

Todos los casos analizados se ha utilizado electrodo de inox, varillas de 3,2 x 450 mm.

## Capítulo 9: Conclusiones

Como primera conclusión, el haber descubierto la infinidad de **aplicaciones que tiene la soldadura** y el **gran número de procesos de soldadura** existentes, así como la **evolución** que ha tenido la soldadura en general. Un tema que igual da para otro trabajo, y que últimamente se habla mucho de él, es el de los materiales compuestos o composites y los nuevos métodos de unión que van apareciendo. Podemos afirmar que la soldadura o los procesos de unión están en **constante evolución**. Todo ello empuja y obliga a que evolucione de forma paralela la normativa que regula los procesos de unión.

He tenido la gran suerte que durante la elaboración de mi proyecto he estado trabajando en un taller de motos especializado en customización de motos americanas y en los remolcadores en el puerto de Barcelona. En ambos trabajos me he dado cuenta de que tanto la soldadura TIG como la soldadura con electrodo revestido prácticamente se utilizan a diario y en **infinidad de aplicaciones**. Añadir, en el caso de las soldaduras vistas en los remolcadores, que me ha sorprendido los esfuerzos mecánicos que puede llegar a soportar una soldadura con electrodo revestido, concretamente el caso de las bitas de amarre. Mediante la soldadura podemos no solo igualar las propiedades de los materiales base, sino que **incluso podemos superar** dichas propiedades mecánicas.

Siguiendo con el tema de la evolución, también he descubierto **el caos normativo** y de estandarización existente en el mundo de la soldadura. Si es verdad que existen muchos organismos que están intentando normalizar dichos procesos e incluso intentando estandarizar la soldadura, pero actualmente **no existe una normativa internacional normalizada y estandarizada**. Ejemplo claro la normativa europea EN – UNE y normativa americana de la AWS.

Me he dado cuenta de las muchas posibilidades que ofrece la soldadura, y de la cantidad de **formación que se requiere para poder ejercer como soldador certificado**. Lo mismo pasa si miramos la soldadura desde el otro lado, es decir, desde el lado de los inspectores o encargados de certificar los procesos y los soldadores. Se requiere titulación y formación para cada tipo de soldadura, vistos los tipos diferentes, posiciones de soldeo, materiales, etc. hay una infinidad de requerimientos.

Por otro lado, también me ha hecho ver la cantidad de opciones existentes como **salidas profesionales**, en este aspecto agradecer infinitamente a Eduard Gutiérrez del Institut Tècnic Català de la Soldadura por abrirme los ojos y mostrarme de forma rápida y esquemática las muchas opciones que ofrece el mercado laboral.

Por último, decir que he probado ambos procesos, tanto TIG como con electrodo revestido, y he podido apreciar por mí mismo, **la cantidad de horas y practica que se requiere para poder realizar una soldadura de calidad**, y más aún que cumpla con lo exigido si se trata de una soldadura certificada.

Agradecer a todos los que me han ayudado en este proyecto que han sido muchos, y como no valorar también las amistades que han surgido durante este tiempo y valorar la implicación que muchos han tenido conmigo sin necesidad alguna ni recibir nada a cambio.



## Bibliografía

- [1] *Codinter*. (s.f.). Obtenido de <https://www.codinter.com/co/producto/antorcha-tig-miller-weldcraft-125/>. Consultado el 19/03/2019.
- [2] *De maquinas y herramientas*. (s.f.). Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-smaw-que-es-y-procedimiento>. Consultado el 19/03/2019.
- [3] *Dia Civil*. (s.f.), de <http://diacivil.blogspot.com/2008/04/la-columna-de-delhi.html>. Consultado el 15/03/2019.
- [4] *Docplayer*. (s.f.). Obtenido de <https://docplayer.es/42905263-Dynasty-fuente-de-poder-para-soldadura.html>. Consultado el 15/03/2019.
- [5] *Edu*. (s.f.). Obtenido de [https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrpontevedra/aulavirtual2/pluginfile.php/13680/mod\\_resource/content/0/procesos\\_de\\_soldeo\\_MIG\\_-\\_TIG.pdf](https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrpontevedra/aulavirtual2/pluginfile.php/13680/mod_resource/content/0/procesos_de_soldeo_MIG_-_TIG.pdf). Consultado el 20/03/2019.
- [6] *El cobre*. (s.f.). Obtenido de <https://elcobre.com/montaje-e-instalacion/proceso-de-soldadura/fenomeno-de-capilaridad> Consultado el 25/03/2019.
- [7] *esab*. (s.f.). Obtenido de <https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso-soldadura-smaw.cfm>. Consultado el 4/04/2019.
- [8] *Fe andalucia*. (s.f.). Obtenido de <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd7564.pdf>. Consultado el 04/04/2019.
- [9] *gn caldereria*. (s.f.), Obtenido de <http://www.gnccaldereria.es/cuando-surge-inicio-soldadura>. Consultado el 7/02/2019.
- [10] *Historia de la soldadura*. (s.f.). Obtenido de <https://www.posicionar-pagina-web.es/2012/06/28/historia-de-la-soldadura/> Consultado el 06/02/2019.
- [11] *imacifp*. (s.f.). Obtenido de <http://www.imacifp.com/wp-content/uploads/2013/09/Soldadura-1.pdf>) Consultado el 19/02/2019.
- [12] *Ingemecanica*. (s.f.). Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn45.html>. Consultado el 11/03/2019).
- [13] *IngeMecánica*. (s.f.). Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn114.html>. Consultado el 13/03/2019.
- [14] *Jose Carlos Moreno*. (s.f.). Obtenido de <https://www.josecarlosmoreno.com/single-post/2016/10/02/Electrodos-de-tungsteno-para-soldadura-TIG-GTAW> Consultado el 27/03/2019.
- [15] *Lincolnelectric*. (s.f.). Obtenido de <https://www.lincolnelectric.com/es-es/support/welding-how-to/Pages/engine-driven-welders-detail.aspx> . Consultado el 03/05/2019.

- [16] *Mano mano*. (s.f.). Obtenido de <https://www.manomano.es/p/soldadora-por-arco-68134>. Consultado el 07/05/2019.
- [17] *Metales*. (s.f.). Obtenido de <http://metales-marbel.blogspot.com/2011/06/tipos-de-soldadura.html> Consultado el 09/05/2019.
- [18] *Slideshare*. (s.f.). Obtenido de [https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrpontevedra/aulavirtual2/pluginfile.php/13680/mod\\_resource/content/0/procesos\\_de\\_soldeo\\_MIG\\_-\\_TIG.pdf](https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrpontevedra/aulavirtual2/pluginfile.php/13680/mod_resource/content/0/procesos_de_soldeo_MIG_-_TIG.pdf) Consultado el 21/05/2019.
- [19] *Sol y sol*. (s.f.). Obtenido de <https://www.solysol.com.es/data/documents/soldadura=20electrodo=20rec.doc.pdf> Consultado el 23/05/2019.
- [20] Solchaga Pérez, G. (Junio de 2015). *Universida de Navarra*. Obtenido de [https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/19222/TFG\\_Gonzalo%20Solchaga.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/19222/TFG_Gonzalo%20Solchaga.pdf?sequence=1&isAllowed=y) . Consultado el 23/05/2019.
- [21] *Soldadura y estructura*. (s.f.). Obtenido de <http://soldadurayestructuras.com/procesos-de-soldadura-y-corte.html>. Consultado el 05/06/2019.
- [22] *Soldadura y estructuras*. (s.f.). Obtenido de [http://soldadurayestructuras.com/2184409\\_Procesos-de-soldadura-y-corte.html](http://soldadurayestructuras.com/2184409_Procesos-de-soldadura-y-corte.html). Consultado el 11/06/2019.
- [23] *Studylib*. (s.f.). Obtenido de <https://studylib.es/doc/8158825/identificaci%C3%B3n-de-botellas-de-gas-para-soldadura>. Consultado el 11/06/2019.
- [24] *Uginox*. (s.f.). Obtenido de [www.uginox.com](http://www.uginox.com) › node. Consultado el 17/06/2019.
- [25] *une*. (s.f.). Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0047593>. Consultado el 18/06/2019.
- [26] Hernández, G. (2007). *Manual del soldador*. Madrid.
- [27] Kalpakjian, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Educación.
- [28] *Welding handbook* (Novena edición ed., Vol. II).
- [29] AENOR. Obtenido de <https://portal-aenormas-aenor-com.recursos.biblioteca.upc.edu/aenor/visor.asp?pidnorma=087057057062064066059060-357705027&pidioma=ES&pidtipo=N#page=1>. Consultado el 23/09/2019.

